مكتبة

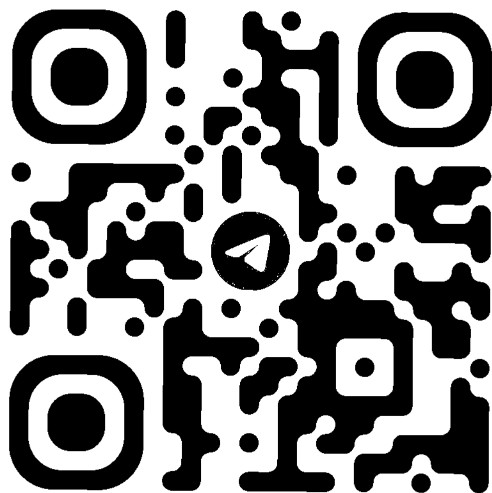
أزرار نابليون
كيف تغير التاريخ بفضل سبعة عشر جزيئًا

بني لو كوتور
جاي بورسون

PENNY LE COUTEUR
& JAY BURRESON

ترجمة: سهيلة رمضان

الرواق للنشر والتوزيع



أزرار نـابولـيـون

أزرار نابوليون

بِني لو كوتور - جاي بورسون

ترجمة: سُهيلة رمضان

الطبعة الأولى: يناير 2024



للنشر والتوزيع

186 عمارات امتداد رمسيس 2

مدينة نصر - القاهرة - مصر

هاتف: 20220812006+

rewaq2011@gmail.com

www.alrewaqpublishing.com

تصميم الغلاف: كريم آدم

الإخراج الفني: ضياء فريد

المراجعة اللغوية: سهيلة رمضان

الترقيم الدولي: 9-211-824-977-978

رقم الإيداع: 26670/ 2023

NAPOLEON'S BUTTONS

HOW 17 MOLECULES CHANGED HISTORY

أزرار نابليون
كيف تغير التاريخ بفضل سبعة عشر جزيئًا

بني لوكوتور
جاي بورسون

ترجمة: سهيلة رمضان

الرواق للنشر والتوزيع

إلى أسرتَيْنا

مقدمة

في غياب المسمار، الحدوة تفتت

في غياب الحدوة، الحصان تفلّت

في غياب الحصان، الفارس تلّفت

في غياب الفارس، الحرب تَلِفت

في غياب الحرب، المملكة تفلتت

كل هذا حدث وصار لغياب المسمار

أنشودة إنجليزية قديمة لرِياض الأطفال

بلغ عدد جيش نابوليون، في يونيو في عام 1812، نحو 600.000 مقاتل. ومع ذلك، بحلول أوائل ديسمبر، صار عددهم أقل من 10.000 جندي. عبرت بقايا قوّات نابوليون الممزقة نهرَ بيريزينا، قرب بوريسوف غرب روسيا، في أثناء رحلة الانسحاب من موسكو. أمّا الجنود الباقون فعانوا المجاعة، وأصيبوا بأمراض، ولحقهم البرد القارس المُخدِّر؛ هذا العدو نفسه الذي هَزَمَ رفاقهم تمامًا كما فعل الجيش الروسي. معظمهم مات، بسبب ملابسهم غير المُناسبة وعدتهم غير الكافية للنجاة من البرد القارس لشتاء روسيا.

تلا انسحاب نابوليون من موسكو عواقبُ بعيدة المدى أثرت في شكل خريطة أوروبا. في 1812، وصلت نسبة الأقنان 90٪ من الشعب الروسيّ، والأقنان هم ملكيّة تامّة لمالك الأرض، تُباع، أو تُشترى، أو يستعمل معها السّوط، وهي أقرب إلى العبودية منها إلى الرِّق المعروف في أوروبا الغربية. أتت مبادئ الثورة الفرنسية ومُثُلها في الفترة من 1789 إلى 1799 في أعقاب وجود جيش نابوليون الغازي، فكسرت نظام المجتمع في العصور الوسطى، وغيرت الحدود السياسية، وأثارت مفهوم القومية. كما خلَّف الجيش إرثًا نافعًا عمليًا. حلت الإدارة المدنية والقوانين المشتركة محل نظام القوانين واللوائح الإقليمية المربكة وواسعة النطاق، كما ظهرت مفاهيم جديدة لحقوق الأفراد والأسرة والملكية. وأصبح النظام العشري للأوزان والمقاييس هو المعيار بدلًا من فوضى مئات المقاييس المحلية المختلفة.

ما الذي أدى إلى تقويض *الجيش الكبير* بقيادة نابوليون؟ ما السبب الذي يجعل جنود نابوليون، المنتصرين في معارك عدة، يتقهقرون في الحملة الروسية؟ إحدى أقوى النظريات المطروحة تتضح بإعادة صياغة أغنية رياض الأطفال القديمة لتصبح كالآتي: «كل هذا حدث وحصل في غياب الزر.» قد يدعو الأمر للدهشة، لكنَّ تفكك جيش نابوليون يُمكن أن يُعزى سببه إلى حدث هيِّن كتفكك زر؛ زر مصنوع من القصدير، على وجه الدِّقة، النوع الذي يُثبت في كل ملابس الجيش بدءًا من المعاطف الثقيلة التي يرتديها ضُباط نابوليون إلى السراويل والسُترات التي يلبسها جنود المشاة. عند انخفاض درجة الحرارة، يتحول معدن القصدير اللّامع إلى

مسحوق رمادي هشّ لا معدنيّ؛ لا يزال العنصر عنصر القصدير، لكن باختلاف صيغته البنائية. أهذا ما حدث لأزرار جيش نابوليون؟ وصف شاهد عيان في بوريسوف جيش نابوليون بأنَّه: «مجموعة رِعاع بهيئة أشباح متدثرين في معاطف نسائية وقطع غريبة الشكل من السَّجاد أو المعاطف الثقيلة المحروقة والمليئة بالثقوب.» هل رجال نابوليون، عندما تداعت أزرار ملابسهم، بهذا الضعف بسبب البرد إلى حدّ عدم احتماله رغم أنهم جنود؟ هل غياب الأزرار يعني أن أياديهم انشغلت بشد الملابس على الجسد بدلًا من حمل الأسلحة؟

توجد عدة إشكاليات عند التحقق من صحة هذه النظرية. «مرض القصدير»، هكذا سُمِّيت المشكلة، كان معروفًا في أوروبا الشمالية لمدة قرون. فلماذا سمح نابوليون، وهو المؤمن إيمانًا راسخًا بضرورة الحفاظ على قدرة قواته وجاهزيتهم للمعارك، باستخدامه في ملابسهم؟ كما أن تفتت القصدير عملية بطيئة إلى حدٍّ معقول، حتى في درجات الحرارة شديدة الانخفاض في شتاء روسيا لعام 1812. لكنَّها قصة طريفة لتُروى مع ذلك، ويستمتع الكيميائيون بالإشارة إليها كسبب كيميائي لهزيمة نابوليون. ولو أنَّ هذه القصة تحمل قدرًا من الحقيقة، فهي تدفع المرء للتساؤل، في حال أنَّ القصدير لا يفسد في البرد، عن مدى احتمالية استمرار نابوليون في التوسع شرقًا. هل من المحتمل حينئذٍ أن يُرفع نير العبودية عن الشعب الروسي في وقتٍ أبكر بنصفِ قرنٍ؟ هل التفرقة بين أوروبا الغربية والشرقية، التي وازت على نحو تقريبيّ امتداد إمبراطورية نابوليون -كشهادةٍ على أثره الممتد- لتظل باقية إلى الآن؟

على مرِّ التاريخ، للمعادن دور حيويّ في تشكيل الأحداث الإنسانيّة. بعيدًا عن الدور المحتمل المشكوك في صحته في قصة أزرار نابوليون، فإن القصدير المنقول من مناجم مقاطعة كورنوال في إنجلترا الجنوبية، محط سعي الرّومان والسبب الأوّل لتوسع الإمبراطورية الرومانية في بريطانيا. بحلول عام 1650، ملأ ما يُقدر بستة عشر آلاف طنٍ من الفضة من مناجم العالم الجديد، خزائنَ إسبانيا والبرتغال، أكثرها استُعمل للمساعدة في الحروب في أوروبا. صار للبحث عن الذهب والفضة تأثيرٌ هائل في الاستكشاف، والاستيطان، وفي بيئة الكثير من المناطق؛ على سبيل المثال، حُمّى اكتناز الذهب في القرن التاسع عشر في كاليفورنيا وأستراليا وشمال إفريقيا، ونيوزيلاند، وكلونذايك عبر الطريق الكندي، أسهمت كثيرًا لانفتاح هذه البلاد على العالم. بل إن لغتنا تحتوي على كلمات وعبارات تأثرًا بهذا المعدن؛ *ليس كل ما يلمع ذهبًا*[1]، *ومعيار الذهب*[2]، *صافٍ كالذهب*[3]، *أعوام ذهبية*. كما أنَّ العصور سُمِّيت نسبة إلى أهمية المعادن. في العصر البرونزيّ، استعمل البرونز -وهو سبيكة أو خليط من القصدير والنحاس- في الأسلحة والأدوات، ثم تلاه

(1) ملحوظة المترجمة: الكلمة الإنجليزية هي Goldbrick، وتعني إمَّا الشيء الذي يبدو جيِّدًا، لكنه بلا قيمة، وتُشير إلى الشخص الكسول. وأصل الكلمة يعود إلى ممارسة بعض العُمَّال قديمًا عندما كانوا يدهنون قوالب الطوب باللون الذهبي لخداع النَّاس.

(2) ملحوظة المترجمة: معيار الذهب هو نظام دولّي نقدي، يحُدد قيمة العملة بقيمة موازية لها بالذهب.

(3) ملحوظة المترجمة: العبارة الأصلية Good as gold، وتشير إلى الشخص مُهَذّب السلوك.

العصر الحديديّ، المعروف بعملية سبك الحديد واستخدام الأدوات الحديدية.

لكن هل المعادن فقط مثل القصدير والذهب والحديد التي شكَّلت التَّاريخ؟ المعادن عناصر؛ مواد لا يُمكن أن تتحول إلى مواد أبسط منها بالتفاعلات الكيمائية. يوجد فقط تسعون عنصرًا طبيعيًّا، وعدد ضئيل ما يقارب التسعين عنصرًا أو نحو ذلك من العناصر التي صنعها الإنسان. لكن يوجد نحو سبعة ملايين مركب ومادة مكوَّنة من عنصرين فأكثر، مجتمعة بنسب *كيميائية* ثابتة. بكلِّ تأكيد توجد مركبات لها دور حيوي في التاريخ، مركبات من دونها لتغير مصير تطور الحضارة الإنسانيّة، مركبات غيرت مسار الأحداث في العالم. هذه فكرة مثيرة، وهذا المبدأ سمة موّحدة تُميز كل فصل في هذا الكتاب.

وبالنظر إلى بعض المركبات الشائعة والمركبات غير الشَّائعة من هذه الزَّاوية المختلفة، تتجلى قصصٌ رائعة. في معاهدة بريدا لعام 1667، تنازل الهولنديون فقط عن ممتلكاتهم في أمريكا الشمالية في مقابل الحصول على جزيرة ران الصغيرة، وهي جزيرة مرجانية ضمن جزر باندا، مجموعة صغيرة في جزر مالكو (أو جزر التوابل) أي شرق جاوة في إندونيسيا حاليًا. أمَّا الدولة الطرف الآخر للاتفاقية، إنجلترا، فتنازلت عن ملكيتها الشرعية لجزيرة ران -أصولها الوحيدة هي بساتين أشجار جوزة الطيب- لتحصل على حقوق قطعة صغيرة أخرى من الأرض في منتصف الطريق حول العالم، وهي جزيرة مانهاتن.

طالب الهولنديون بحقهم في مانهاتن سريعًا بعد أن قام هنري هدسون، الذي سعى للوصول إلى الممر الشمالي الغربي إلى جزر الهند

الشرقية وجزر التوابل الأسطورية، بجولة في المنطقة. في عام 1664، أُجبر الحاكم الهولندي لنيو أمستردام، بيتر ستايفيسانت، على تسليم المستعمرة إلى الإنجليز. وبسبب احتجاجات الهولنديين على هذا الاستيلاء والمطالبات الإقليمية الأخرى، ظل البَلَدان في حالة حرب لمدة ثلاث سنوات تقريبًا. أثارت السيادة الإنجليزية على جزيرة ران غضب الهولنديين، الذين سيكتمل احتكارهم لتجارة جوزة الطيب بالحصول على جزيرة ران. ولم يسمح الهولنديون، وهم لهم تاريخ طويل من الاستعمار الوحشي والمذابح والاستعباد في المنطقة، للإنجليز بأن يكون لهم موطئ قدم في تجارة التوابل المربحة هذه. وبعد حصار دام أربع سنوات والكثير من القتال الدموي، غزا الهولنديون جزيرة ران. استجاب الإنجليز بمهاجمة السفن ثقيلة الحمولة التابعة لشركة الهند الشرقية الهولندية.

أراد الهولنديون تعويضًا عن خداع الإنجليز واستعادة نيو أمستردام؛ وطالب الإنجليز بدفع مال مقابل هجمات الهولنديين في جزر الهند الشرقية واستعادة جزيرة ران. وبسبب عدم رغبة أي من الطرفين في التراجع أو تحقيق النصر في المعارك البحرية، قدمت معاهدة بريدا فرصة لحفظ ماء الوجه لكلا الجانبين. سيحتفظ الإنجليز بمانهاتن مقابل تنازلهم عن جزيرة ران. أما الهولنديون فيحتفظون بجزيرة ران ويتنازلون عن المزيد من مطالب حيازة مانهاتن. ومع رفع العلم الإنجليزي فوق نيو أمستردام (التي سُمِّيت فيما بعد نيويورك)، بدا أن الهولنديين حصلوا على الجزء الأفضل من الصفقة. قليلون هم الذين يمكنهم رؤية قيمة مستوطنة صغيرة في

العالم الجديد تضم حوالي ألف شخص مقارنة بالقيمة الهائلة لتجارة جوز الطيب.

لماذا جوز الطيب ذو قيمة إلى هذا الحد؟ مثل التوابل الأخرى، كالقرنفل والفلفل والقرفة، يُستعمل جوز الطيب بكثرة في أوروبا لحفظ الطعام، وإضافة نكهة له، وللتداوي. لكنه له دور آخر أكثر أهمية. اعتُقد أن جوز الطيب يحمي من الطاعون، المرض الأسود الذي اجتاح أوروبا على فترات متباعدة بين القرنين الرابع عشر والثامن عشر.

بكلِّ تأكيد، نعلم أن المرض الأسود هو مرض بكتيريّ انتقل من الجرذان المصابة بالعدوى خلال لدغات البراغيث. لذا ارتداء كيسٍ به جوز الطيب حول الرقبة ليمنع الإصابة بالطَّاعون قد يبدو ليس إلَّا خرافة من خرافات العصور الوسطى؛ حتى ننظر إلى كيمياء جوز الطيب. سبب الرّائحة المميزة لجوز الطيب تعود إلى مركب *إيزو يوجينول*. تُنتج النباتات مركبات مثل مركب إيزو يوجينول كمبيد طبيعي للآفات، لحمايتها ضد المفترسات الرعوية، وضد الحشرات والفطريات. من الممكن تمامًا أن يتفاعل الإيزو يوجينول كقاتل طبيعي للحشرات ليطرد البراغيث. (لذلك نقول، لو أنَّك في هذه الفترة تمتعت بثروة إلى حد استطاعتك شراء جوز الطيب، فعلى الأرجح لعشت في مكانٍ أقل ازدحامًا يوجد به عدد ضئيل من الجرذان والبراغيث، وهذا ما قلَّل من تعرضك للطاعون.)

سواء أكان جوز الطيب فعّالًا ضد الطَّاعون أم لا، فالجزيئات العطرية الطيَّارة التي يحتوي عليها بلا شك هي التي منحته قيمة وتقديرًا. ولعل الاستكشاف والانتفاع الحاصل بسبب تجارة التوابل، ومعاهدة بريدا، وحقيقة أن سكان نيويورك ليسوا من أهل نيو أمستردام، سببه مركب الإيزو يوجينول.

بالنظر إلى قصة مركب الإيزو يوجينول التي أدت إلى التأمل والتحليل للمركبات الأخرى التي غيرت العالم، صارت بعض المركبات مشهورة ولا يزال لها دور حيويّ لاقتصاد العالم أو لصحة الإنسان، وأمَّا المركبات الأخرى فتلاشت في أحضان مجهول. كل هذه الكيمياء مسئولة إما عن وقوع حدثٍ أساسي في التاريخ وإمَّا سلسلة من الأحداث غيَّرت المجتمعات.

قررنا كتابة هذا الكتاب لسرد القصص عن الروابط الرائعة بين الصيغ البنائية وحلقات التاريخ، وللكشف عن كيف أنَّ الأحداث غير المرتبطة تستند في أساسها إلى مركبات كيميائية متشابهة، ولفهم إلى أيٍّ مدى يعتمد تطور المجتمعات على كيمياء مركبات معينة. فكرة أنَّ الأحداث الجسيمة رُبما تستند إلى شيء صغير مثل الجزيء -مجموعة من ذرتين أو أكثر مجتمعين معًا في ترتيب محدد- تُوفر منهجًا جديدًا لفهم نمو الحضارة الإنسانية. التغيير البسيط مثل تغيير موضع الرَّابطة -الترابط بين الذرات في الجزيء- يُمكن أن يؤدي إلى اختلافات عدة في خصائص المادة وبالتالي يؤثر في مسار التاريخ. لذا فهذا الكتاب ليس عن تاريخ الكيمياء؛ بل عن الكيمياء في التَّاريخ.

أمَّا اختيار المركبات التي سترد في الكتاب فهو خيار شخصي، وعملية التحديد النهائية ليست شاملة لكلِّ المركبات. اخترنا هذه المركبات التي وجدناها الأكثر متعة على مستوى قصصها وكيميائها. ولأنَّ الجزيئات التي اخترناها على أنها الأكثر أهمية في تاريخ العالم، هو أمر قابل للجدال؛ فإن زملاءنا في مجال الكيمياء بلا شك يُمكنهم أن يضيفوا جزئيات إلى القائمة أو يحذفوا بعضًا مما ناقشناه. سنشرح لماذا نرى أنَّ جزيئات محددة أثارت رحلة الاستكشاف الجغرافيّ، وجزيئات أخرى يَسَّرت رحلات الاكتشاف البحرية التالية. سنصف الجزيئات ذات الأهمية القصوى في تقدم حركة التجارة والتبادل التجاري، المسئولة عن هجرة البشر والاستعمار، وتلك التي أدت إلى الاستعباد والعمالة الجبرية. سنناقش مدى تأثير الصيغ البنائية لبعض الجزيئات في تغيير شكل الطعام والشراب والملبس. سننظر إلى الجزيئات التي أثارت تقدمًا في الطِّب، وفي النظافة العامة، والصحة. سنتأمل الجزيئات التي أدت إلى نتائج عظيمة مُثْمرة في الهندسة، وجزيئات الحرب والسلام؛ بعضها تسبب في موت الملايين وبعضها الآخر حافظ على ملايين الحيوات. سنستكشف عدد التغييرات في الدور الاجتماعي، في الثقافات والمجتمعات الإنسانية وفي القانون وفي البيئة يُمكن أن يُعزى سببها إلى الصيغ البنائية لعدد صغير من الجزيئات المهمة. (السبعة عشر جزيئًا التي اخترناها في هذه الفصول -سبعة عشر جزيئًا تشير إلى عناوين الفصول- ليست دائمًا جزيئات منفردة. غالبًا هي مجموعة من الجزيئات تتشابه إلى حدٍّ كبير في الصيغة البنائية والخصائص والأدوار في التاريخ.)

لم ترد الأحداث المذكورة في الكتاب بترتيب زمني تاريخي. بل رتبنا الفصول وفقًا لقنوات الربط؛ الرابط بين الجزيئات المتشابهة، وبين مجموعة من الجزيئات المتشابهة، بل وبين الجزيئات المختلفة نوعًا ما كيميائيًا لكن خصائصها متشابهة أو يُمكن أن تلتقي في أحداث متشابهة. على سبيل المثال، تعود بداية الثورة الصناعيّة إلى الأرباح المجنية من المُرَكَّب الذي يعتمد إنتاجه على عمالة العبيد (السكر) في مزارع الأمريكتين، لكن يوجد مركب آخر (القطن) الذي عزز التغييرات الاقتصادية والاجتماعية في إنجلترا، ومن الناحية الكيميائية فإن المركب الأخير الأخ الأكبر للمركب السّابق، أو ربما هما ابنا عمومةٍ. في نهاية القرن التاسع عشر يعود سبب نمو الصناعة الكيماوية الألمانية، جزئيًا، إلى تطور الصبغات الجديدة المستخرجة من قطران الفحم (مخلفات توجد بسبب إنتاج الغاز من الفحم). هذه شركات الكيمياويات الألمانية نفسها هي أول من أنتج مضادات حيوية صناعية، مكوّنة من جزيئات بصيغ بنائية مشابهة للصبغات الحديثة. كما أنَّ قطران الفحم أسهم في توفير أول مُطهّر، الفينول، وهو جزيء استخدم فيما بعد في أول بلاستيك صناعي ويُرتبط كيميائيًا بإيزو يوجينول، الجزيء العطري المستخرج من جوز الطيب. يزخر التاريخ بهذه الروابط الكيمائية.

أثار انتباهنا دور السِّرنديبية[1] المعروف في الكثير من الاكتشافات الكيميائية. كثيرًا ما وُثِّق دور الحظ العظيم في الكثير من الاستنتاجات والاستقصاءات المهمة، لكن يتراءى لنا أنَّ قدرة المكتشفين على إدراك وقوع شيء غير عادي -وطرح التساؤلات عن سبب وقوعه ومدى فائدته المتوقعة- لهو أمرٌ ذو أهمية أعظم. وفي كثير من المواقف في ميدان التجارب الكيميائية يجري تجاهل نتيجة غريبة لكن ذات أهمية محتملة فتضيع الفرصة. القدرة على توقع الاحتمالات لنتيجة غير متوقعة تستحق أن يُنظر إليها بعين الاحترام والتقدير بدلًا من تجاهلها والتعامل معها على أنَّها ضربة حظ عارضة. بعض المخترعين والمكتشفين للمركبات التي نناقشها هم كيميائيون، لكن بعضهم الآخر لم يخضع لتدريب علمي على الإطلاق. لعل معظمهم يُمكن أن يُشار إليهم على أنهم شخصيات، غير عادية، أو مدفوعة بهدفٍ ما، أو مهووسون بالطموح. قصصهم رائعة.

العضوية، أليست تعني البستنة؟

لتفهم الروابط الكيميائية في الصفحات القادمة، سنقدم لك أولًا عرضًا موجزًا للمصطلحات الكيميائية. تُعرف كثير من المركبات المذكورة في هذا الكتاب على أنَّها مركبات *عضوية*. خلال آخر عشرين سنة أو ثلاثين استُعملت كلمة *عضوي* للإشارة إلى معنى مختلف قليلًا عن تعريفها الأصليّ. أمَّا الآن فمصطلح *عضوي*

---

(1) ملحوظة المترجمة: يُشير المصطلح إلى الاكتشافات المفاجئة أو العرضية ذات القيمة ولها أثر سعيد أو رائع في نَفْسِ مُكتشفها. يعود أصل الكلمة إلى اسم بلاد سيرلانكا سابقًا لأنَّ السفر إليها دائمًا ما أسفر عن اكتشافات ومفاجآت سارَّة في الطَّريق.

الذي يُشير عادةً إلى أعمال البستنة أو الطعام، يُفهم على أنه الزراعة التي تجري من دون استخدام مبيدات حشرية أو مبيدات أعشاب صناعية أو من دون أسمدة صناعية. لكن كلمة **عضوي** إنما هي في الأساس مصطلح كيميائي يعود استخدامه تاريخيًّا منذ تقريبًا مئتي عامٍ إلى العالم يونس ياكوب بيرسيليوس، عالم كيميائي سويدي استخدم في عام 1807 كلمة **عضوي** للإشارة إلى المركبات المشتقة من المتعضيات الحيَّة[1]. أمَّا مقابل هذا المصطلح، فاستخدم كلمة **غير عضوي** وتعني المركبات التي لا يعود منشأها إلى الكائنات الحيّة.

قديمًا ظلَّ الإيمان راسخًا بفكرة أنَّ المركبات الكيميائية المشتقة من الطبيعة لها طبيعة مميزة نوعًا ما، أنَّها تحتوي على أصل الحياة حتى لو لم يجرِ تعقب ذلك أو قياسه، منذ القرن الثامن عشر. هذا الوجود المميز عُرف على أنَّه *الطاقة الحيوية*. أمَّا الاعتقاد بوجود سمات خفيّة ما في المركبات المشتقة من النباتات أو الحيوانات فأطلق عليه المذهب *الحيوي*[2]. اعتُقد أنَّ تصنيع المركبات العضوية في المعمل عملية مستحيلة بحكم التعريف المُفسر لمعنى المُركبات، لكن على سبيل المفارقة أحد تلاميذ العالم بيرسيليوس حقق ذلك. في عام 1828،

---

(1) ملحوظة المترجمة: مثل البروتينات والأحماض النووية. وكلمة متعضيات تعني الكائن الحيّ.

(2) ملحوظة المترجمة: في محاولة للوصول إلى الفرق الجوهري بين الجماد والكائن الحيّ، تطورت نظرية قديمة ليصلوا إلى استنتاج مفاده أنَّ بداخل الكائنات الحية قوى حيوية خفية هي السبب في نشاطها وحركتها وعملياتها، وذلك عكس التفسير الميكانيكي البحت الذي فسَّر التفاعلات داخل أجسام الكائنات الحية على أنَّها مُجرد تفاعلات كيميائية، توجد في الكائن الحي وغيره على حدٍ سواء.

سخَّن فريدرش فوهار، صار فيما بعد أستاذًا في الكيمياء في جامعة جوتنجن في ألمانيا، مركب الأمونيا غير العضوي مع حمض السيانيك لينتج كريستالات من اليوريا تُشبه تمامًا مركب اليوريا العضوي المُستخلص من بول الحيوانات.

على الرّغم من أنَّ أصحاب المذهب الحيوي زعموا أنَّ حمض السيانيك عضوي لأنه يُستخرج من الدم الجاف، فإن نظرية المذهب الحيوي أوشكت أن تتداعى. وعلى مرَّ العقود القليلة الماضية انهارت تمامًا بعد أن استطاع علماء الكيمياء الآخرون إنتاج مركبات عضوية من مصادر غير عضوية فقط. على الرَّغم من أن بعض العلماء تأرجحوا بين الشّك والجزم وتصديق ما بدا في الأول هرطقة، ففي النهاية صارت وفاة المذهب الحيوي معترفًا بها على نطاق واسع. ودعت الحاجة إلى تعريف كيميائي جديد لكلمة **عضوي**

تُعرف الآن المركبات العضوية على أنَّها المركبات التي تحتوي على عنصر الكربون. والكيمياء العضوية، نتيجة لذلك، هي علم دراسة مركبات الكربون. هذا ليس التعريف المثالي، مع ذلك، لأنه توجد مجموعة من المركبات التي تحتوي على عنصر الكربون لا يراها علماء الكيمياء مطلقًا مركبات عضوية. والسبب في ذلك تقليدي في الأساس. فالكربونات، المركبات المكونة من كربون وأكسجين، معروفة على أنَّها تشتق من المصادر المعدنية وليس بالضرورة من الكائنات الحية وذلك قبل تجربة فوهار الفاصلة. لذا فالرَّخام (كربونات الكالسيوم) والبيكينج صودا (كربونات الصوديوم) لم يُصنّفا مطلقًا على أنَّهما من المركبات العضوية. وبالمثل، عنصر الكربون نفسه، سواء في صيغة

الماس أو الجرافيت -كلاهما في الأصل معادن تُستخرج من ترسبات في الأرض على الرغم من أنهما الآن يُستخرجان صناعيًا- ساد اعتقاد دائمًا أنه عنصر غير عضوي. ثاني أكسيد الكربون، يحتوي على ذرة كربون متحدة مع ذرتي أكسجين، لطالما عُرف على مدار قرون لكنه لم يُصنف قط على أنه مركب عضوي. لذلك تعريف كلمة عضوي ليس تعريفًا ثابتًا تمامًا. لكن عامة المركب العضوي هو مركب يحتوي على عنصر الكربون، والمركب غير العضوي هو المركب الذي يتكون من عناصر أخرى غير الكربون.

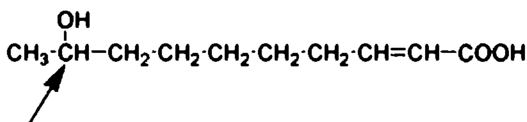
لعنصر الكربون، أكثر من أي عنصر آخر، وسائل هائلة للتنوع في تكوين روابط وكذلك في عدد العناصر التي يستطيع أن يرتبط بها. لذلك يوجد الكثير والكثير من مركبات الكربون توجد في صورة طبيعية أو مُصنَّعة، أكثر من المركبات التي تحتوي على عناصر أخرى متحدة معًا. وهذا قد يُوضح حقيقة أننا سنتعامل مع جزئيات عضوية أكثر من تعاملنا جزيئات غير عضوية في هذا الكتاب؛ أو ربما لأن السبب في ذلك أنَّ كلا المؤلفين من علماء الكيمياء العضوية.

صيغ بنائية: هل علينا توضيح ذلك؟

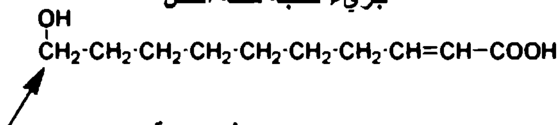
في أثناء كتابة هذا الكتاب، أكبر مشكلة واجهتنا هي تحديد كم المحتوى الكيميائي الذي ينبغي أن يُكتب في صفحاته. نصحنا بعض الأفراد بتقليل محتوى الكيمياء، نتجاوزه ولا نحكي إلَّا القصص. وتحديدًا، ما أخبرنا به، عدم رسم أي صيغة بنائية. لكن هذا هو الارتباط بين الصيغ البنائية وما تفعله، بين كيفية تمتع مركب ما بخصائص كيميائية معينة، وسبب وجود هذه الخصائص، وكيفية

تأثيرها في أحداث معينة في التاريخ وسبب ذلك، وهذا ما وجدناه أكثر متعة. على الرغم من أنَّك تستطيع قراءة هذا الكتاب بلا شك من دون النظر إلى هذه الصيغ، فإننا نرى أنَّ فهم الصيغ البنائية يجعل العلاقة المتشابكة بين التاريخ والكيمياء أكثر حيوية.

تتكون المركبات العضوية أساسًا من أنواع وفيرة من الذرات: الكربون (ورمزه الكيميائي C)، والهيدروجين (ورمزه الكيميائي H)، وأكسجين (O)، ونيتروجين (N)، والكلور (Cl)، والفلور (F)، واليود (I)، والفوسفور (P) والكبريت (S) أيضًا يُوجد في المركبات العضوية. رُسمت الصيغ في هذا الكتاب عامة لتوضيح أوجه الاختلاف والتشابه بين المركبات؛ وغالبًا كل ما يتطلب فعله هو النَّظر إلى الرّسوم هذه. غالبًا يُشار إلى التنوع برسم سهمٍ أو دائرة أو يُشار إليه بصورةٍ ما. على سبيل المثال، الاختلاف الوحيد بين الصيغتين الموضحتين فيما يلي هو مكان ارتباط مجموعة الهيدروكسيل (OH) بذرة الكربون (C)؛ يُشار إليه بسهم في كل الحالتين. في الجزيء الأوَّل ترتبط مجموعة الهيدروكسيل بذرة الكربون الثّانية من اليسار؛ أمَّا في الجزيء الآخر فترتبط مجموعة الهيدروكسيل بأول ذرة كربون على اليسار.

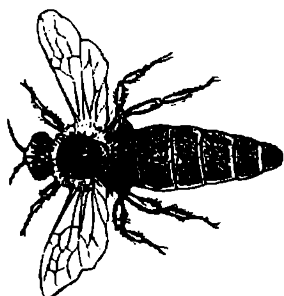


جزيء تنتجه ملكة النحل

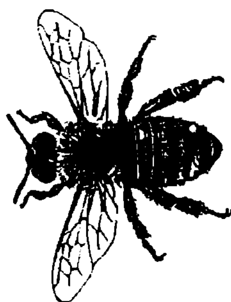


جزيء تنتجه العاملات في مملكة النحل

هذا أحد الاختلافات الضئيلة، لكنَّه ذو أهمية ضخمة لو صادف أن تحولتَ إلى ملكة نحل. تنتج ملكات النحل الجزيء الأوَّل. يصبح النحل قادرًا على معرفة الاختلاف بينه وبين الجزيء الثاني، الذي تنتجه العاملات في مملكة النحل. يُمكننا توضيح الاختلاف بين العاملات وملكة النحل بالنظر إلى النحلتين.



ملكة النَّحل



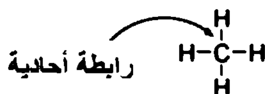
عاملة في مملكة النحل

إهداء لطيف من رايموند وسيلفيا شامبرلين

يستخدم النَّحل الإشارات الكيميائية لتمييز الاختلاف. يُمكننا القول إنها ترى بعدسة الكيمياء.

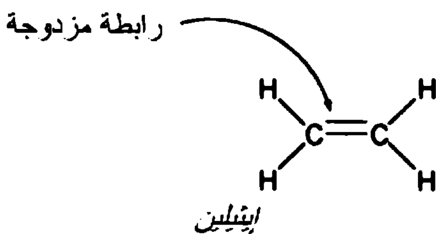
يرسم علماء الكيمياء هذه الصيغ لتتبع الطريقة التي ترتبط بها الذرات معًا من خلال الروابط الكيميائية. تمثل الرموز الكيميائية الذرات، وتُرسم الروابط في خطوط مستقيمة. أحيانًا يوجد أكثر من رابطة بين الذرات نفسها؛ إن كانت ذرتين فهذه رابطة مزدوجة وتُوضح في الرَّسم بعلامة =. عندما توجد ثلاث روابط كيميائية بين الذرتين نفسيهما، تُعرف بالرَّابطة الثلاثية ويُشار إليها في الرسم بعلامة ≡.

في أحد أسهل الجزيئات العضوية، الميثان (غاز المستنقعات)، يُحيط بالكربون أربع روابط أحادية، كل واحدة تربطه بذرة هيدروجين. الصيغة الكيميائية له CH4، والصيغة البنائية تُرسم كالآتي:



الميثان

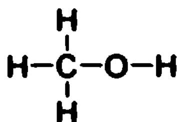
أمَّا أبسط مركب عضوي يحتوي على رابطة مزدوجة هو الإيثين (يُسمى أيضًا إيثيلين) وصيغته الكيميائية C_2H4 وصيغته البنائية:



إيثيلين

هنا لا يزال للكربون أربع روابط، تُحسب الرابطة المزدوجة على أنها رابطتان. على الرغم من أن مركب الإيثلين بسيط، فإنه ذو أهمية كبيرة. هو هرمون نباتيّ مسئول عن تعزيز نضج الفواكه. لو أنَّ التفاح، على سبيل المثال، لم يُخزن في أماكن جيدة التهوية، فإن غاز الإيثلين الذي ينتجه يزداد ويؤدي إلى زيادة نضجه إلى حد الذبول. وهذا هو السبب الذي يجعلك تُسرع من نضج فاكهة الأفوكادو أو الكيوي الصلبة بوضعها في كيسٍ مع ثمرة تفاح ناضجة مسبقًا. يُزيد الإيثلين الذي ينتجه التفاح الناضج من معدل نضج الفاكهة الأخرى التي معه.

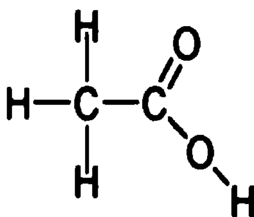
المركب العضوي الميثانول، معروف أيضًا بالكحول الميثيلي أو كحول الخشب، صيغته الكيميائية CH_4O. يحتوي هذا الجزيء على ذرة أكسجين واحدة وصيغته البنائية تُرسم كالآتي:



الميثانول

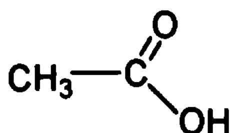
هنا لذرة الأكسجين، رمزها الكيميائي O، رابطتان أحاديتان، أحدها متصلة بذرة الكربون والأخرى متصلة بذرة الهيدروجين. وكما الحال دائمًا، للكربون أربع روابط إجمالًا.

في المركبات التي تحتوي على رابطة مزدوجة بين ذرة الكربون وذرة الأكسجين، مثل الموجودة في حمض الأسيتيك (حمض الخليك) وعندما تُكتب صيغته الكيميائية بهذا الشكل C_2H4O2، لا تُشير مباشرة إلى مكان الرَّابطة المزدوجة. وهذا هو السبب لكي نرسم الصيغة البنائية، لنشير تحديدًا إلى المكان الذرة التي ترتبط بذرة أخرى وأين مكان الرابطة المزدوجة أو الثلاثية.



حمض الأسيتيك

نرسم هذه الصيغ البنائية في صورة مختصرة أو مكثفة. فحمض الأسيتيك يُمكن أن يرسم كالآتي:

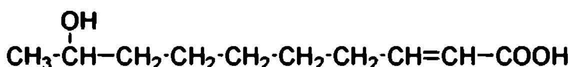




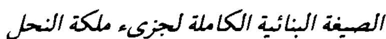
أو حتى هكذا

هكذا لا تظهر كل الرَّوابط. هي، بكل تأكيد، لا تزال موجودة، لكنَّ هذه الصيغ المختصرة أسرع في الرّسم لتعرض بوضوح العلاقات بين الذرات.

نظام الرَّسم يُطبَّق بصورةٍ فعّالة على الجزيئات الأصغر، لكن في حال الجزيئات الأكبر، يُصبح الرَّسم مستهلكًا للوقت ويصعب اتباع روابطه. على سبيل المثال، لو أننا عُدنا إلى الجزيء التعريفي للملكة النحل:

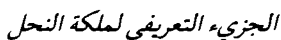


وقارنّاه برسم كامل موضح لكل الروابط، لصارت الصيغة البنائية كالآتي:



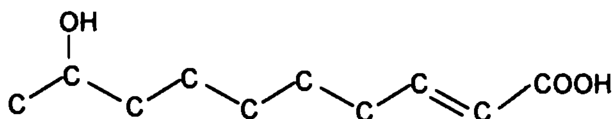
الصيغة البنائية الكاملة لجزيء ملكة النحل

هذه الصيغة الكاملة مُرهقة في الرَّسم وتبدو فوضويّة. لهذا السبب، غالبًا نرسم المركبات باستخدام عدد من الاختصارات، أكثرها شيوعًا هو تجاوز رسم الكثير من ذرات الهيدروجين. هذا لا يعني أنَّها غير موجودة؛ بل إننا لم نظهرها. دائمًا للكربون أربع روابط، لذا إن لم نرَ الروابط الأربعة للكربون، لكننا متأكدون أنها موجودة، فإننا نعلم أن هذه الروابط غير الظَّاهرة هي الروابط مع ذرات الهيدروجين.

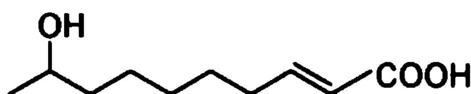


الجزيء التعريفي لملكة النحل

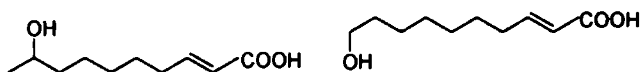
وكذلك، جميع ذرات الكربون تظهر روابطها غالبًا في صورة زاوية بدلًا من خط مستقيم؛ هذا هو الشكل التقريبي الأكثر لشكل الجزيء. في هذه الصيغة، يبدو جزيء ملكة النحل كالآتي:



بل إن رسم نسخة أكثر تبسيطًا يتجاوز رسم الكثير من ذرات الكربون يصبح كالآتي:



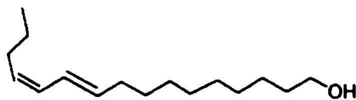
هنا في نهاية هذا الخط وفي أي انحناء يمثل وجود ذرة كربون. كل الذرات الأخرى (عدا معظم ذرات الكربون والهيدروجين) لا تزال موجودة. وبتسهيل رسم الصيغة هكذا، يسهل رؤية الاختلاف بين جزيء ملكة النحل وجزيء عاملات المملكة.



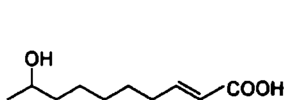
جزيء ملكة النحل *جزيء عاملات المملكة*

الآن يسهل مقارنة هذين المركبين بالمركبات الأخرى المنبعثة من الحشرات الأخرى. على سبيل المثال، ***بومبيكول*** جزيء فرمون أو جاذب جنسيّ ينتجه ذكور دود القز، لديه ستة عشر ذرة كربون (مقابل عشر ذرات في جزيء ملكة النحل، وهو فرمون كذلك)،

ورابطتان ثنائيتان بدلًا من واحدة، ويفتقد إلى ترتيب الذرات مجموعة الكربوكسيل (COOH).

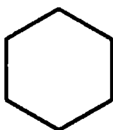


جزيء بومبيكول



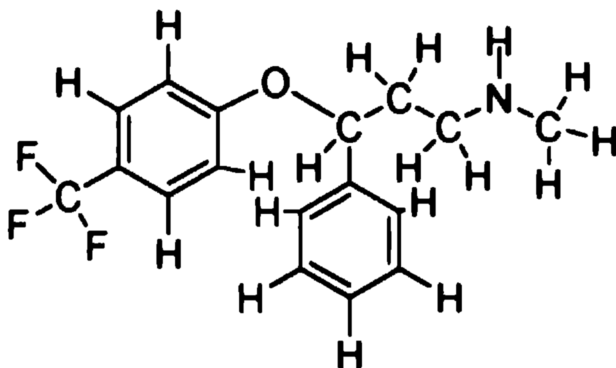
جزيء ملكة النحل

من المفيد تحديدًا أن نتجاوز رسم الكثير من ذرات الكربون والهيدروجين عندما نتعامل مع ما يُسمى بالمركبات سلسلية مغلقة، صيغة بنائية شائعة على نطاق واسع فيها يتخذ الكربون شكل حلقة. تعبر الصيغة البنائية التالية عن جزيء هكسان حلقي، C_6H12:



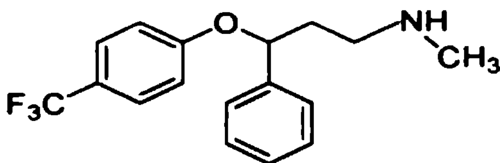
نسخة مختصرة أو مكثفة من الصيغة البنائية للهكسان الحلقي. كل نقطة تلاقي ضلعين تُمثل ذرة كربون؛ ولا تظهر ذرات الهيدروجين.

لو رُسم كاملًا، لظهر الهكسان الحلقي كالآتي:



الصيغة البنائية الكاملة لمركب البروزاك

لكن النسخة المُبسّطة تبدو أكثر وضوحًا:

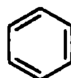


Prozac

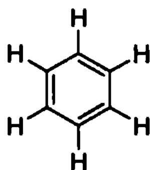
بروزاك

يوجد مصطلح آخر يُستخدم غالبًا لوصف جوانب الصيغة البنائية وهو مصطلح **عطري**. كما ورد في القاموس فإن كلمة عطري تعني «شيء له رائحة أو لاذع أو حامض أو حارّ أو له رائحة مُسْكِرَة، تدل على وجود عطر جميل.»

من النَّاحية الكيميائية، المركب العطري غالبًا له رائحة، على الرغم من أنه لا يُفترض أنها رائحة جميلة. كلمة **عطري** عندما تُستعمل في الكيمياء، تشير إلى أنَّ المركب يحتوي على صيغة حلقية من البنزين (موضح أدناه)، مما يعني أنَّ صيغته البنائية الشائعة كالآتي:

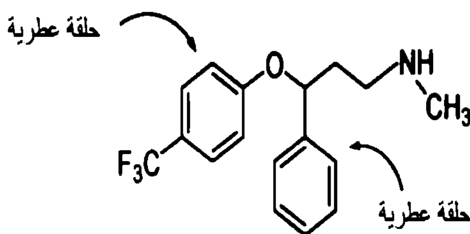


الصيغة البنائية المكثفة للبنزين



الصيغة البنائية لحلقة البنزين

بالنظر إلى رسم البروزاك، يُمكنك أن ترى أنه يحتوي على حلقتين من الحلقات العطرية. لذلك البروزاك من المركبات العطرية.



حلقتان عطريتان في مركب البروزاك

ما هذا إلَّا مقدمة قصيرة عن الصيغ البنائية العضوية، لكنَّها ما تحتاج إليه حقًّا لتفهم ما وصفناه في هذا الكتاب. سنقارن بين الصيغ البنائية لنرى مدى تشابهها معًا ومدى اختلافها، وسنعرض مدى

التأثير الهائل للتغييرات الضئيلة في الجزيء التي قد تحدث أحيانًا أثارًا كبيرة. بتتبع الروابط بين الأشكال المحددة والخصائص ذات الصلة للجزيئات ينكشف تأثير الصيغ البنائية في تطور الحضارة.

الفصل الأول

الفلفل وجوز الطيب والقرنفل

كريستوس إي إسباربيس! -تعني بحقِّ المسيح والتوابل- هذا النداء المبتهج من بحارة فاسكو دي جاما عندما، في مايو عام 1498، وصلوا إلى الهند وهم يهدفون إلى حصد ثروة هائلة لا تُوصف من التوابل التي ظلت لمدة قرون حكرًا على تجار مدينة البندقية. في القرون الوسطى في أوروبا، ظل لأحد التوابل، الفلفل، قيمة إلى حد أنَّ لدرجة أن رطلًا من هذا الحَبِّ المجفف يكفي لشراء حرية عامل إقطاعي تابع لملكية أحد النبلاء. على الرغم من أنَّ الفلفل الآن يوجد على طاولات العشاء في جميع أنحاء العالم، فالطلب عليه وعلى المركبات العطرية كالقرفة والقرنفل وجوز الطيب والزنجبيل كان وقودًا لحركة بحث كونية انتشرت في عصر الاكتشاف.

تاريخ موجز للفلفل

لا يزال الفلفل، من الكرمة الاستوائية بايبر نيجروم[1]، أصلها في الهند، أكثر التوابل استخدامًا وشيوعًا. أمَّا الآن أكثر منتجيه من المناطق الاستوائية في الهند والبرازيل وإندونسيا وماليزيا. الكرمة قوِّية من النباتات التسلّقية التي تنمو لعشرين قدمٍ أو يزيد. تحمل

(1) ملحوظة المترجمة: تعني الفلفل الأسود.

النباتات ثمرَة كروية حمراء في غضون سنتين إلى خمس سنوات وفي ظل الظروف المناسبة تستمر في الإنتاج لمدة أربعين عامًا. يمكن أن تنتج كرمة واحدة عشرة كيلوجرامات من التوابل في كل موسم.

يُباع ما يقرب من ثلثي الفلفل في صورة فلفل أسمر، يُنتج من خلال عملية التخمر الفطري لحبّات الفلفل غير النَّاضجة. أمَّا الفلفل الأبيض، الذي يُستخرج من الثمرة الجافة النَّاضجة بعد إزالة قشرة الحبَّة واللب، فيُمثل معظم الكمية المتبقية. نسبة ضئيلة من الفلفل تُباع في صورة فلفل أخضر؛ هذه الحبَّات الخضراء، التي تُقطف بُمجرد أن تتحول إلى النَّضج، تُخلل في محلول ملحي. أمَّا الألوان الأخرى للفلفل، مثل الأنواع التي أحيانًا تُباع في المتاجر الخاصّة، فهي إما صبغات صناعية وإما أنواع أخرى حقيقية من حبات الفلفل.

يُزعم أنَّ التجار العرب هم الذين نقلوا الفلفل إلى أوروبا، في البداية عن طريق رحلات البحث عن التوابل قديمًا خلال مدينة دمشق وعبر البحر الأحمر. عُرف الفلفل في اليونان بحلول القرن الخامس قبل الميلاد. في هذه الأثناء اقتصر استخدامه على المجال الطّبي والعلاج عن استخدامه في المطبخ، وكثيرًا ما استعمل مضادًا للسموم. لكن الرُّومان استغلوا الفلفل استغلالًا على نطاق أوسع وكذلك أنواع التوابل الأخرى في طعامهم.

بحلول القرن الأوَّل الميلادي، أكثر من نصف الواردات إلى البحر الأبيض المتوسط من آسيا والساحل الشرقي لإفريقيا هي واردات من التوابل، إذ يمثل الفلفل الصَّادر من الهند مُعظم هذه الواردات. يعود استعمال التوابل في الطَّعام إلى سببين اثنين: كمواد حفظ

الطعام ومعززات للنكهة. مدينة روما كبيرة، ووسائل النقل بطيئة ولم تُخترع الثلاجات وأجهزة التبريد في ذلك الوقت، وتضخمت مشكلة الحصول على طعام طازج والحفاظ على بقائه طازجًا. لم يجد المستهلكون وسيلة إلى استعمال أنوفهم لمعرفة ما إذا فسد الطَّعام أم لا؛ فملصقات «تاريخ الصلاحية» أتت بعد قرونٍ من الآن. والفلفل والتوابل الأخرى أخفت مذاق الطعام الفاسد والأطعمة المتعفنة ولعلها ساعدت كذلك في إبطاء عملية تحلل الطعام. رُبما تحول مذاق الأطعمة الجافة أو المدخنة أو المالحة إلى مذاق مستساغ وشهيّ بسبب إضافة كمية كبيرة من هذه البهارات.

بحلول العصور الوسطى بدأت حركات تجارة أوروبية كثيرة إلى الشرق من خلال مدينة بغداد (في العراق الحديثة) ثم إلى القُسطنطينة (تُعرف الآن بمدينة أسطنبول) عبر الشواطئ الجنوبية للبحر الأسود. من أسطنبول شُحنت التوابل إلى ميناء مدينة البندقية، التي احتكرت تقريبًا حركة التجارة في القرون الأربعة الأخيرة في العصور الوسطى.

بداية من القرن السادس الميلادي، انتعشت مدينة البندقية انتعاشًا كبيرًا بسبب حركة تسويق الملح المُستخرج من بحيراتها. ازدهرت على مرِّ القرون بسبب القرارات السياسية الحاذقة التي حافظت على استقلال المدينة في أثناء تجارتها مع كل الأمم. أتاحت الحملات الصليبية المُقدّسة التي استمرت ما يقرب من مائتي عامٍ، بدأت في نهاية القرن الحادي عشر، لتجار مدينة البندقية بتعزيز مكانتهم بصفتهم ملوك التوابل في العالم. فإمدادات وسائل النَّقل والسفن الحربية وأسلحة الجيش والمال إلى الصليبين على يد أوروبا الغربية صار

استثمارًا مربحًا استفادت منه جمهورية البندقية استفادة مباشرة. أراد الصليبيون، العائدون من بلدان الشرق الأوسط الدافئة إلى أوطانهم الشمالية الأكثر برودة، أن يأخذوا معهم التوابل الغريبة التي أصبحوا يستمتعون بها في رحلاتهم. في هذا التوقيت لعل الفلفل عُرِف بداية كأحد التوابل الجديدة، يُمكن لعدد وفير من الأثرياء تحمّل تكلفته، لكنَّ قدرته على إخفاء التعفن، وإعطاء نكهة إلى الأطعمة الجافة عديمة الطعم، وقدرته الملحوظة على تقليل مذاق الملح في الأطعمة المالحة سرعان ما جعلته عنصرًا لا غنى عنه. حظي التجار الكبار في مدينة البندقية بفرصة لفتح سوق جديد واسع، وأتى تجار الأسواق من جميع بقاع أوروبا لشراء التوابل، ولا سيّما الفلفل.

بحلول القرن الخامس عشر اكتمل الاحتكار التّام لمدينة البندقية في تجارة التوابل وزادت هوامش الرِّبح زيادة كبيرة وحان الوقت للأمم الأخرى أن تنظر بعينٍ جادة إلى إمكانية العثور على طرق منافسة للوصول إلى الهند، تحديدًا طريق البحر حول إفريقيا. تولَّى الأمير هنري الملاح، ابن الملك جون الأوّل ملك البرتغال، مهمة إعداد برنامج شامل لبناء السفن ليُنتج أسطولًا من سُفن تجار البضائع القوية التي يُمكنها تحمل ظروف الجو الشديدة في المحيط المفتوح. أوشك عصر الاكتشاف على البدء، والسبب في ذلك إلى حدٍ كبير هو الطلب على حبوب الفلفل.

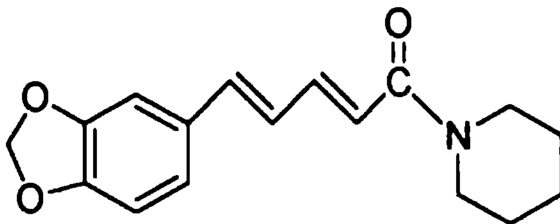
في أثناء منتصف القرن الخامس عشر غامر المستكشفون البرتغاليون بالإبحار إلى مسافة بعيدة في الجنوب إلى الجبل الأخضر، على ساحل إفريقيا الشمالي الغربي. بحلول عام 1483 اكتشف الملّاح البرتغالي

دييجو كاو مناطق أبعد في الجنوب حتى وصل إلى فم نهر الكونجو. وبعد أربع سنوات فقط، أتى بحار برتغالي آخر، بارتولوميو دياز، ودار حول طريق رأس الرجاء الصَّالح، ممهدًا طريقًا سهلًا لأخيه في الوطن، فاسكو دي جاما، ليصل إلى الهند في عام 1498.

أراد الأمراء الهنود في مدينة كاليكوت، ولاية على السَّاحل الجنوبي الغربي في الهند، الحصول على الذهب مقابل بيع حبَّات الفلفل لديهم، وهذا ما لم يخطر ببال البرتغاليين عندما أرادوا الهيمنة عالميًا على الفلفل. لذا بعد خمس أعوام، أتى دي جاما، حاملًا السلاح ومعه جنود، وهزم مدينة كاليكوت ووضع تجارة الفلفل تحت سيطرة البرتغال. هذه هي بداية الإمبراطورية البرتغالية التي امتدت في نهاية المطاف شرقًا من إفريقيا عبر الهند وإندونيسيا وغربًا إلى البرازيل.

كذلك وضعت إسبانيا عينيها على تجارة التوابل، والفلفل على وجه التحديد. في عام 1492 اقتنع كريستوفر كولومبوس، الملاح الجنويّ، أنَّ الطريق البديل المحتمل الأقصر هو الطريق إلى طرف الهند الشرقي ويُمكن الوصول إليه بالإبحار إلى جهة الغرب، وأقنع الملك فرديناند الخامس والملكة إيزابيلا ملك إسبانيا وملكتها، بتمويل رحلة بحرية للاستكشاف. أصاب كولومبوس في بعض ما اقترح لكنه أخطأ في بعضٍ آخر. يُمكنك الوصول إلى الهند بالاتجاه غربًا من أوروبا، لكنه ليس طريقًا أقصر. ولذلك فإن الدول المجهولة في أمريكا الشمالية والجنوبية وكذلك المحيط الهادي الواسع وقفت عقبات لا يُستهان بها في الطريق.

ما السرُّ في الفلفل الذي بنى مدينة البندقية العظيمة، وأرشد الكثيرين في عصر الاكتشاف، وشغل كولومبوس بالبحث عن طريق جديد؟ المادة الفعالة في كلٍ من الفلفل الأسمر والفلفل الأبيض هي مادة بيبرين[1]، مركب صيغته الكيميائية $C_{17}H19O_3N$ وصيغته البنائية:



البيبرين

الإحساس الحارَّ الذي نشعر به عندما نتناول مادّة البيبرين ليس طعمًا بل استجابة عصبية مِنًّا لمحفزٍ كيميائيّ. كيفية عمل هذا المحفز لا تزال مجهولة، لكن يُرى أنَّه بسبب شكل جزيء البيبرين، القادر على أن يتلاءم مع البروتين الموجود في نهايات الأطراف العصبية المسئولة عن الإحساس بالألم في الفم والأجزاء الأخرى من الجسد. هذا يؤدي إلى تغيير شكل البروتين وإرسال إشارة على طول الأعصاب إلى المخ، رسالة مثل «آه، هذا حارّ.»

لم تنتهِ قصة جزيء البيبرين الحار وكولومبوس بفشل العثور على طريق غربيّ إلى الهند. عندما حطّ بقدميه على الأراضي في أكتوبر عام

(1) ملحوظة المترجمة: تُعرف أيضًا باسم الفلفلين.

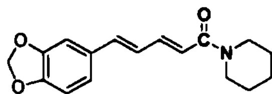
1492، زعم كولومبوس -أو ربما أَمِلَ- أَنَّه وصل إلى جزء من الهند. على الرغم من غياب المدن الكبيرة والممالك الغنيّة التي توقع أن يجدها في الهند، فإنه أطلق على هذه الأرض الهند الغربية والأشخاص الذين يعيشون هناك الهنود. وفي رحلته البحرية الثانية إلى الهند الغربية، وجد كولومبوس، في هاييتي، تابلًا آخر حارًا. على الرغم من أَنَّه يختلف اختلافًا تامًا عن الفلفل الذي عرفه، أخذ الفلفل الحار وعاد إلى إسبانيا.

سافر التابل الجديد غربًا إلى البرتغال وحول إفريقيا إلى الهند وما بعدها. وخلال خمسين عامًا انتشر الفلفل الحار في العالم واندمج بسرعة في المطابخ المحلية وتحديدًا مطابخ إفريقيا وشرق آسيا وجنوبها. في نظر الملايين منا ممن يحبون حرارة مذاقه، يبقى الفلفل الأحمر، بلا شك، أحد أهم الثمرات الباقية من رحلات كولومبوس البحرية.

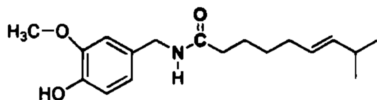
الكيمياء الحارَّة

على عكس أصناف حبَّات الفلفل ذات النوع الواحد، فإن حبَّات الفلفل الحار لها أنواع كبيرة من جنس *الفُلَيْفِلَة* الحارّة. تعيش في أمريكا الاستوائية وعلى الأرجح تأتي من المكسيك، استخدمها البشر على الأقل لمدة تسعة آلاف عام. بداخل أي نوع من الفلفل الحار، يوجد تنوع هائل. فالفليفلة الحولية، على سبيل المثال، هي جنس حوْلي يشمل الفلفل الرُّومي الكبير والفلفل المُسَكَّر والفلفل الحلو الصغير والفلفل الموز والبابريكا والفلفل الأحمر الحارّ، وأنواعًا أخرى. أمَّا فلفل التابسكو هو من النباتات المعمرة الخشبيّة، *فليفلة شجيرية*.

للفلفل الحار عدة ألوان وأحجام وأشكال، لكنها كلها يوجد لديها المركب الكيميائي المسئول عن طعمها اللاذع وأحيانًا كثيرة الحار هو مركب كابسيسين، صيغته الكيميائية $C_{18}H27O_{3}N$ وصيغته البنائية تتشابه إلى حدٍ ما مع الصيغة البنائية للبيبرين:



بيبرين

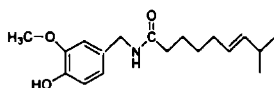


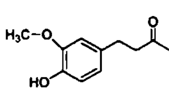
كابسيسين

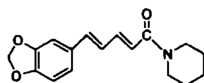
في كلا الصيغتين ترتبط ذرة نيتروجين واحدة (N) بذرة كربون (C) متصلة برابطة مزدوجة مع الأكسجين (O)، وكلاهما به حلقة عطرية واحدة مع سلسلة من ذرات الكربون. ولأنَّ كليهما «حار» فربما السبب لا يدع مجالًا للمفاجأة إذا قُلنا أنَّ سبب الإحساس الحارَّ هو شكل الجزيء.

الجزيء الثالث «الحار» يوافق نظرية شكل الجزيء وهو مركب *وزينجرون* ($C_{11}H14O3$)، موجود في السّاق الأرضية لنبات الزنجبيل، *زينجابر أوفيتشينالي*[1]. على الرّغم من أنَّه أصغر من البيبرين والكابسيسين (وكذلك، وقد يختلف الناس على هذا الأمر، ليس حارًّا مثلهما)، فإن الوزينجرون له حلقة عطرية مع المجموعتين ذاتهما HO و $H_{3}C$-O الموجودتين في الكابسيسين، لكن من دون ذرة النيتروجين.

(1) ملحوظة المترجمة: هذا الاسم العلمي لنبات الزنجبيل.







الكابسيسين *الوزينجرون* *البيبرين*

لماذا نأكل مثل هذه الجزيئات المُسببة للألم؟ لعله توجد أسباب كيميائية منطقيّة. فالبيبرين والوزينجرون والكابسيسين تُزيد من إفراز اللعاب في أفواهنا، فتساعد في عملية الهضم. كما يُرى أيضًا أنها تحفز حركة الطعام في الأمعاء. على عكس براعم التذوق الموجودة بصفة أساسية في ألسنة الثدييات، فإن الأعصاب المسئولة عن الإحساس بالألم، القادرة على تتبع الرسائل الكيميائية التي ترسلها هذه الجزيئات، توجد في أجزاء أخرى من جسم الإنسان. هل سبق لك أنك فركت عينيك من دون قصدٍ عندما تُقطع الفلفل الحار؟ يحتاج العاملون في جمع حصاد الفلفل الحار إلى قفازات مطاطية ونظارة حماية للعين للوقاية من الزيت الحار الموجود في جزيئات الكابسيسين.

تظهر الحرارة التي نشعر بها في حبّات الفلفل بصورة نسبيّة وفقًا لكمية الفلفل في الطعام. وحرارة الفلفل الحار، على الجانب الآخر، يُمكن تحديدها. فاللون والحجم وبلد المنشأ كلها عوامل تؤثر في «حرارة» الفلفل الحار. لكن لا يُمكن الاعتماد على أيٍّ من هذه الأدلة؛ فمع أنَّ الفلفل الصغير كثيرًا ما يسبب حرارة، الفلفل كبير الحجم ليس معتدلًا دائمًا في حرارته. ليس بالضرورة أن تساعد المناطق الجغرافية على تحديد ذلك، على الرغم من أنه قيل إن أشد

فلفل حرارة في العالم ينمو في أجزاء من شرق إفريقيا. تزيد حرارة الفلفل عادةً عندما يصير الفلفل الحار جافًا.

غالبًا ما نشعر بحالةٍ من الإشباع والرِّضا بعدما نتناول وجبة حارَّة كالنَّار، ولعل هذا الشعور بسبب إفراز الإندروفينات، مُركبات أفيونية التأثير تُنتج في المخ كاستجابة الجسد تجاه الألم. قد تُفسر هذه الظَّاهرة سبب أنَّ بعض الناس يبدون وكأنهم مدمنون على وجبات الطَّعام كثيرة التوابل الحارَّة. كلما زادت حرارة الفلفل، زاد الألم، وبالتالي زاد إفراز الإندروفينات بكميات كبيرة وفي النَّهاية زاد مقدار البهجة.

إذا استثنينا البابريكا، الفلفل الذي عُرف منذ القدم في الطعام المجري ومنها على سبيل المثال طبق يخني الجولاش المجري، فالفلفل الحار لم يغزُ أطباق الطعام في أوروبا كما فعل في المطبخ الإفريقيّ والآسيويّ. فعند الأوروبيين، ظلَّ البيبرين الموجود في حبَّات الفلفل المركب الحار الوحيد قيد الاختيار. استمرَّت هيمنة البرتغال على مدينة كاليكوت وبالتالي استمرت السيطرة على تجارة الفلفل لنحو مئة وخمسين عامًا، لكن في بدايات القرن السابع عشر استولى الهولنديون والإنجليز على هذه التِّجارة. أصبحت أمستردام ولندن مَيناءين تجاريين كبيرين لتجارة الفلفل في أوروبا.

أُسست شركة إيست إنديا -أو إذا أردنا أن نُسميها باسمها الرّسمي عندما تأسست في عام 1600، لقلنا إذن الوكالة والشركة التجارية لتجار البضائع في لندن للتجارة في جزر الهند الشرقية- لتصبح ذات دورٍ أكثر فعالية لإنجلترا في تجارة التوابل الصادرة من جُزر الهند الشرقية. أمَّا الأخطار النَّاجمة عن تمويل الرحلات البحرية

المتجهة إلى الهند التي ستعود منها السُفن محملة بالفلفل، فكانت مرتفعة، لذلك في البداية قدَّم تجار البضائع عطاياهم في المزادات على «أسهم» من هذه الرَّحلات، وبالتالي تقليل القدر المتوقع من الخسارة لأي فرد. في نهاية المطاف تحول هذا الفعل إلى شراء أسهم من الشركة نفسها ولذلك يُمكن أن يُنظر إليها على أنها بداية الرأسمالية. لعل نوع من المبالغة أن نقول إن البيبرين، الذي لا بُدَّ أنه الآن يُنظر إليه نسبيًّا على أنه مُركب كيميائي بلا أهمية، هو المسئول عن بدايات الهيكل الاقتصادي المعقد لأسواق الأسهم العالمية اليوم.

فتنة أشعلتها التّوابل

من النَّاحية التَّاريخية، الفلفل ليس التابل الوحيد الذي له أهمية كبيرة. فجوز الطيب والقرنفل أيضًا ثمينان وأكثر نُدرة من الفلفل. أصل كلاهما يعود إلى جزر التوابل أو الملوك الأسطورية، المعروفة حاليًا بمقاطعة مالوكو الإندونيسيّة. لم تنمُ شجرة جوز الطيب، *ميريستيكا فرجنينس*[1]، إلاَّ في جُزر الباندا، وهي أرخبيل[2] من سبعة[3] جُزر معزولة في بحر باندا، على بُعد حوالي ألف وستمائة ميلٍ شرق مدينة جاكرتا. هذه الجُزر متناهية الصغر، أكبرها أقل من 10 كيلومتر طولًا وأصغرها تكاد لا تتجاوز بضعة كيلو أمتار. في شمال

---

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم اللاتيني المذكور في الكتاب Myristica fragrans، وتعني باللغة العربية: جوز الطيب العطري.

(2) ملحوظة المترجمة: أرخبيل تعني مجموعة من الجزر المتقاربة في البحر.

(3) ملحوظة المترجمة: عِندَ البحث عن هذه الجُزر، تبين أنَّ عددها المعروف حاليًا هو 10 جزر صغيرة.

جزر المُلوك توجد جزيرتان مساحتهما الصغيرة متساوية وهما جزيرتا تيرنات وتيدور، وهو المكان الذي يقتصر فيه وجود شجرة القرنفل، *أوجينا أروماتيكا*[1].

لعدة قرون استمر شعب هذين المجموعتين من الجُزر في حصاد المنتج العطري لهذا الشجر، وبيع التوابل للعرب الزائرين، والتجار الصِّينيين والملاويين لتُشحن في سفن إلى آسيا وأوروبا. ازداد عدد سالكي طرق التّجارة، وسواءً يجري النقل عبر الهند، أو الجزيرة العربية أو بلاد فارس أو مصر، فإن التوابل ظلت تنتقل بين عشرات الأيادي قبل أن تصل إلى المستهلكين في أوروبا الغربيّة. نظرًا إلى أنَّ كل معاملة تُضاعف السعر، فلا عجب أنَّ حاكم الهند البُرتغالية، ألفونسو دي ألبوكيرك، وجّه نظره إلى هدفٍ أبعد، بالنزول أوّلًا في سيلان، ثم الاستيلاء فيما بعد على إقليم ملقا، يقع في شبه جزيرة الملايو، ثم مركز تجارة التوابل في شرق الهند. بحلول عام 1512، وصل إلى منابع جوز الطيب والقرنفل، وضع حجر الأساس للاحتكار التجاري البرتغالي مباشرةً لجزر الملوك، وسرعان ما غلب تجار البندقية.

إسبانيا كذلك طمعت في تجارة التوابل. في عام 1518 أقنع البحار البرتغالي فرناندو ماجلان، الذي قوبلت خططه لإرسال بعثةٍ بالرِّفض في بلده الأم، التَّاج الإسبانيّ أنَّ الوصول إلى جزر التوابل بالسفر غربًا ليس ممكنًا فحسب، بل إنه طريق أقصر. ولإسبانيا أسباب معقولة لدعم مثل هذه البعثة. الطريق الجديد إلى جزر الهند

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم اللاتيني المذكور Eugenia Aromatica، وتعني باللغة العربية شجرة/ شجيرة استوائية عطرية.

الشرقية سيتيح لسفنها أن تتجنب الموانئ البُرتغالية والملاحة في الممر الشرقي عبر إفريقيا والهند. علاوة على ذلك، صدر مرسوم سابق من البابا ألكسندر السَّادس يمنح بموجبه البرتغال جميع الأراضي غير المسيحية الواقعة على الخط الوهمي من الشمال إلى الجنوب على مسافة مئة فرسخ (أي ما يقارب ثلاثمائة ميل) غربًا من جزر الرأس الأخضر. سُمِحَ لإسبانيا أن تملك جميع الأراضي غير المسيحية الواقعة في غرب هذا الخط. أمَّا فكرة أنَّ العالم دائري -هذه الحقيقية التي عمل بها الكثير من الباحثين والبحارين في هذا الوقت- فتغاضت الفاتيكان عنها أو تجاهلتها. ولذلك فالسفر في اتجاه الغرب سيمنح إسبانيا فرصة مُطالبة شرعية بجزر التوابل.

أقنع ماجلان التاج الإسباني أنَّ لديه معلومات عن سلك طريق عبر قارة أمريكا، وكذلك أقنع نفسه بذلك. غادر إسبانيا في شهر سبتمبر في عام 1519، مُبحرًا في الاتجاه الجنوب الغربي لعبور البحر الأطلنطي ثم يتجه إلى سواحل ما يُعرف الآن بدولة البرازيل وأوروغواي وأرجنتينا. وعندما تبين أن مصب نهر ريو دي لا بلاتا، المؤدي إلى المدينة المعروفة حاليًا باسم بوينس أيرس، لا يزيد عن ذلك -أي إنه مُجرد مصب فقط- فلا بُدَّ أنَّ خيبة أمله وعدم تصديقه زادا بقدرٍ هائل. لكنه استمر في التوجه في الطريق الجنوب الغربي، واثقًا أنّ مَمرًّا من المحيط الأطلنطي إلى الهادي سيظهر دائمًا حول الرأس البحري التالي. ازداد الوضع سوءًا في رحلته المكونة من خمس سفن صغيرة وطاقم عمل من 265 رجلًا. كلما أبحر ماجلان أبعد في اتجاه الجنوب، قصرت الأيَّام وازداد هياج العواصف. أضاف إلى الرحلة

بؤسًا فوق بؤسها الخطُ الساحليّ الخطير بظاهرة المد والجزر القويّة، والطقس المتدهور، والأمواج العاتية، والبرد المستمر، والصقيع والجليد، بالإضافة إلى الخطر الواقعي الوشيك بالانزلاق من فوق المعدات المُجمّدة. عند دائرة عرض 50 درجة جنوبًا، ومع غياب الممر في الأفق، وبعد أن سبق أن نجح في قمع حركة تمردٍ واحدة، قرر ماجلان الانتظار حتى نهاية فصل الشتاء الجنوبيّ قبل أن يشرع في الإبحار في النهاية للاكتشاف والإبحار في المياه الغدَّارة التي تحمل اسمه الآن.

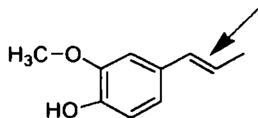
بحلول أكتوبر في عام 1520، نجحت أربعة من سُفنه بعبور مضيق ماجلان. بسبب نقص الإمدادات، تجادل موظفو ماجلان بضرورة العودة. لكنّ بسبب فتنة القرنفل وجوز الطيب، والمجد والثروة اللذين سيأتيان كمحصلة لانتزاع تجارة التوابل في جزر الهند الشرقية من البرتغال، استمر ماجلان في الإبحار باتجاه الغرب ومعه ثلاث سفن. رحلة بمسافة تقرب من ثلاثة عشر ألف ميلٍ عبر المحيط الهادئ الشاسع، محيط أوسع مما يُمكن أن يتخيله أي شخص، من دون خرائط، فقط أدوات ملاحية بدائية، وطعام لا يكفي، ومخزون ماء أوشك على النفاد، الأمر آل إلى وضعٍ أشد سوءًا من عبور الممر حول طرف أمريكا الجنوبية. بلغت البعثة اليابسة في 6 مارس في عام 1521، في جوام في جزر ماريانا، منحت طاقم العمل تذكرة عبور من الموت المحدق بسبب المجاعة أو داء الإسقربوط.

بعد عشر أيام بلغ ماجلان اليابسة للمرة الأخيرة، على يابسة جزيرة ماكتان الفلبينية الصَّغيرة. قُتِلَ في أثناء اشتباكٍ مع السُكان الأصليين، فلم يصل قط إلى جزيرة الملوك، على الرغم من أنَّ سُفنه

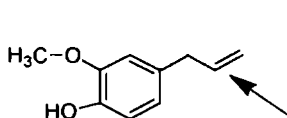
وما تبقى من الطَّاقم عادت إلى الإبحار إلى تيرنات، موطن القرنفل. بعد ثلاث سنوات من مغادرة إسبانيا، أبحر طاقم سفينة مستنزف من ثمانين ناجٍ إلى إشبيليّة ومعه ستة وعشرين طنًا من التوابل في جسم السفينة *فيكتوريا* المهترئ، وهي السفينة الأخيرة المتبقية من أسطول ماجلان *الأرمادا* الصغير.

الجزئيات العطرية للقرنفل وجوز الطّيب

على الرغم من أنَّ القرنفل وجوز الطيب ينحدران من عائلة نباتية مختلفة وفي مجموعة جزر بعيدة يفصلها بمئات الأميال بحرٍ كبير بصورة أساسية، فإن عطريهما المختلف بصورة مميزة سببه وجود جزيئين متشابهين إلى حدٍ كبير. المكوِّن الأساسي لزيت القرنفل هو يوجينول؛ أمَّا المركب العطري في زيت جوز الطيب هو الأيزو يوجينول. هذان الجزيئان العطريان -ويُقصد بالعطري هنا أي الرَّائحة والصيغة البنائية- يختلفان فقط في مكان رابطة مزدوجة:



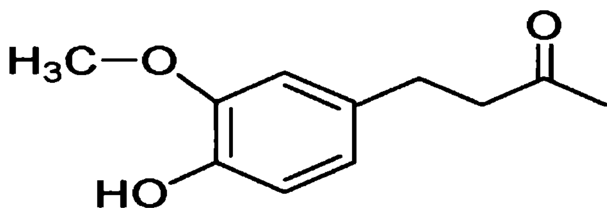
إيزو يوجينول (من جوز الطِّيب)



يوجينول (من القرنفل)

يُشار إلى الاختلاف الوحيد في هذين المُركبين ـ مكان الرابطة المزدوجة ـ بسهمٍ

تتضح أيضًا أوجه التشابه بين هذين الصيغتين للمركبين وبين الصيغة البنائية للوزينجرون (من الزنجبيل). مرَّة أخرى، رائحة الزنجبيل مختلفة نوعًا ما عن رائحة كل من القرنفل وجوز الطيب.



Zingerone

وزينجرون

لا تنتج النباتات هذه الجزئيات قوية الرائحة من أجل منفعتنا. لأنها لا تستطيع الانسحاب بعيدًا عن حيوانات الرعي، والحشرات الماصة الثاقبة والحشرات الآكلة للأوراق، أو من الآفات الفطرية، تحمي النباتات نفسها بحرب كيميائية تشمل الجزيئات كجزيئات اليوجينول أو الأيزو أجينول، وكذلك البيبرين والكابساسين والوزينجرون. هذه مبيدات طبيعية للآفات، جزيئات قوّية فعَّالة. يستطيع الإنسان أن يستهلك هذه المركبات بكميات صغيرة لأنَّ عملية إزالة السموم التي يقوم بها الكبد تفي بالغرض. على الرّغم من أنَّ تناول جرعة عالية من مركب محدد قد تحول نظريًا دون عمل أحد المسارات الأيضية للكبد، فإن الأمر المُطمئِن هو نعلم أن ابتلاع كمية كافية من الفلفل أو القرنفل أمرٌ مختلف في هذا الصدد.

حتى على بُعد مسافة طويلة من إحدى أشجار القرنفل، تظهر رائحة اليوجينول الرَّائعة. يُوجد المُركب في أجزاء مختلفة في النبات، بالإضافة إلى براعم الزهور الجافة التي نعرفها. منذ وقتٍ طويل في عام 200 قبل الميلاد، في عصر سُلالة الهان، ما زال القرنفل يُستخدم



تجفيف القرنفل في الشارع في شمال سولاويزي، إندونيسيا.

(التقطت بِني لو كوتور هذه الصُورة)

كمُعطِّر لتحسين رائحة الفم لمدة قرونٍ في البلاط الإمبراطوري في الصِّين. قُدِّرت قيمة زيت القرنفل بوصفه مطهرًا قويًا وفعَّالًا وعلاجًا لألم الأسنان. ما يزال حتّى الآن يُستخدم أحيانًا مخدرًا موضعيًّا في طبِّ الأسنان.

وتابل جوز الطيب أحد المنتجين اللذين يُستخرجان من شجرة جوز الطِّيب، أمَّا التابل الآخر فهو الصولجان[1]. يُستخرج جوز

(1) ملحوظة المترجمة: يُعرف أنَّه قشرة جوز الطيب وذلك لأنَّ البذرة التي تحتوي حبّة جوز الطِّيب تُغلف بهذه العشبة.

الطِّيب مطحونًا من البذرة، أو الجوزة، البنية اللامعة بداخل الفاكهة الشبيهة بالمشمش، أمَّا الصولجان فيأتي من طبقة الحماية حمراء اللون، أو جُفّ البذرة[1]، التي تحُيط الجوزة. شاع استعمال جوز الطّيب لمدةٍ طويلة في المجال الطّبي، في الصين لعلاج مرض الروماتيزم وآلام المعدة، واستعمل في جنوب شرق آسيا لعلاج الدّوسنتاريا[2] والمغص[3]. أمَّا في أوروبا، فبالإضافة إلى النظر إليه على أنَّه مُنوِّم وعامل مثير لتحريك الشهوة الجنسيّة، استعمل جوز الطيب كذلك في الأكياس الصغيرة التي عُلِّقت حول الرقبة للحماية من المرض الأسود، الذي اجتاح أوروبا على فترات منتظمة بعدما حلَّ بها للمرة الأولى في عام 1347. على الرغم من أنَّ الأمراض الوبائية الأخرى (مثل حُمَّى التيفوس والجدري) زارت أجزاء من أوروبا بصورة دوريّة، فإن الطاعون أكثر الأوبئة التي كان يُخشى منها. ضرب البلاد على صورٍ ثلاث. الطاعون *الدّبْلي* يظهر في صورة دَبلات أو تورمات مؤلمة في الفخذ والإبطين؛ وكان النزيف الدَّاخليّ وتلف الأعصاب قاتليْن في 50 بالمئة إلى 60 بالمئة من الحالات المُصابة. أمَّا الصورة الثَّانية الأقل شيوعًا لكنَّها الأكثر خُبثًا فهي الطاعون *الرئوي* أمَّا الطاعونُ *الإنتاني الدَّموي* حيث تغزو كميات هائلة من العصيات الدّم، فهو كذلك قاتل، في كثير من الأحيان يقتل في أقل من يومٍ واحد.

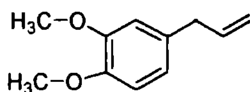
---

(1) ملحوظة المترجمة: جُفّ البذرة ما يُغلِّف جوز الطّيب، وعادة هي طبقة سمينة تتطور عن الغلاف الخارجي للبذرة تأخذ ألوانًا مختلفة، وقد تكون سمينة أو ذات شعرٍ.

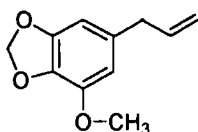
(2) ملحوظة المترجمة: يُعرف هذا المرض أيضًا بالزحار وديزنطاريا، وهو التهاب معوي يصيب القولون بصورة أساسية نتيجة عدوى طفيلية.

(3) ملحوظة المترجمة: المغص هو ألم باطنيّ حاد.

من الممكن قلبًا وقالبًا أنَّ جزيئات الإيزو يوجينول في جوز الطيب الطازج تفاعلت وكأنَّها رادعٌ للبراغيث التي تحمل بكتيريا الطَّاعون الدبلي. كذلك رُبما الجزيئات الأخرى في جوز الطّيب لها خصائص المُبيد الحشري. فكميات من الجزيئين العطريين الآخرين، المريستيسين والإليميسين، توجد في كلٍ من جوز الطيب والصولجان. هذا المُركبان متشابهان إلى حدٍ كبير ويُشبهان كذلك المركبات الأخرى التي رأيناها في جوز الطيب والقرنفل والفلفل.



الإليميسين



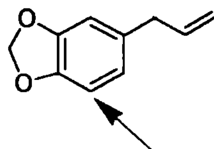
المريستيسين

بالإضافة إلى النظر إليه على أنه تميمة أو حجاب ضد الطَّاعون، فإنَّ جوز الطيب كذلك عُدَّ «تابل الجنون.» خصائصه التي تُسبب الهلوسة –على الأرجح تعود إلى الجزيئين المريستيسين والإليميسين– ظلت معروفة لقرون. أفاد تقرير في عام 1576 أنَّ «سيدة إنجليزية حُبلى، بعد تناولها لعشر حبات جوز الطيب أو اثنتي عشرة حبّة، صارت مخمورة إلى حدِ الهذيان.» دقة هذه الحِكاية مشكوك في صحتها، ولا سيّما أن العدد المستهلك من حبات جوز الطيب، لأَنَّه كما تُوضح روايات الواقع الحاليّ أنَّ تناول حبة واحدة من جوز الطِّيب يُسبب الغثيان، يُسبب التعرق الغزير، وخفقان في القلب، وارتفاعًا كبيرًا في ضغط الدّم، بالإضافة إلى المعاناة لأيّامٍ مع الهلوسة.

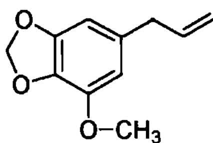
هذا نوعًا ما أكبر من مُجرد حالة سُكر إلى حد الهذيان؛ يُعزى سبب الوفاة إلى استهلاك عدد أقل بكثير من اثنتي عشرة جوزة الطيب. كما أنَّ تناول المريستيسين بكميات كبيرة قد يؤدي إلى تلف الكبد.

أضف إلى جوز الطيب والصولجان، الجزر والكرفس والشبت والبقدونس والفلفل الأسود، جميعها تحتوي على كميات ضئيلة من المريستيسين والإليميسين. عادةً لا نستهلك كميات هائلة من هاتين المادتين الكافية للشعور بأثرها المُخدِّر. ولا يوجد دليل على أنَّ المريستيسين والإليميسين لهما تأثير نفسيّ بذاتهما. يُمكن أن يُحوّلا، من خلال بعض مسارات التمثيل الغذائيّ غير المعروفة حتّى الآن في أجسادنا، إلى آثار مركبين يُمكن أن يُشبها مركبات الأمفيتامينات[1].

المُبرر الكيميائي المنطقي لهذا السيناريو يتوقف على حقيقة أنَّ جزيئًا آخر، السافرول، بصيغته البنائية المختلفة عن المريستيسين فقط بغياب OCH3، هو المُركب الأوَّلي للتصنيع غير المشروع للمركب الذي اسمه كاملًا -3،4ميثيلين ديوكسي ميثامفيتامين، يُعرف اختصارًا بـالـ MDMA وكذلك يُعرف باسم الإكستاسي.



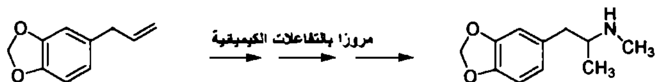
السافرول. يُشير السّهم إلى غياب OCH3



المريستيسين

(1) ملحوظة المترجمة: منبهات قويّة للجهاز العصبي.

فيما يلي كيفية تحوّل السافرول إلى الإكستاسي:



السافرول *4،3 - ميثيلين ديوكسي ميثامفيتامين أو* MDMA *(الإكستاسي)*

يأتي السافرول من شجرة الساسافراس. كذلك يُمكن تتبع أثره في الكاكاو والفلفل الأسمر والصولجان وجوز الطيب والزنجبيل البريّ. أمَّا زيت الساسافراس، الذي يُستخرج من جذور الشجرة، فهو يحتوي على السافرول بنسبة 85 بالمئة واستُخدم لأوَّل مرّة كعامل أوليّ لإضافة نكهة إلى مشروب الروت بير[1]. يُعدّ السافرول الآن مادة مُسرطنة كما أنَّه، مع زيت الساسافراس، مُنِعَ استخدامه كمادة مُضافة إلى الطَّعام.

جوز الطيب وولاية نيويورك

سيطر على تجارةِ القرنفل البرتغالُ خلال مُعظم القرن السادس عشر، لكنَّها لم تحقق احتكارًا كاملًا لهذه التجارة. توصلت إلى اتفاقيات للتجارة وبناء الحصون البحرية مع سلاطين جزيرتي تيرنات وتيدور، لكن ثبت أن هذه التحالفات كانت مؤقتة. استمر

(1) ملحوظة المترجمة: مشروبات حُلوة، عادة ما تكون غازية، غير كحوليّة، تُضاف إليها أعشاب ونكهات مستخلصة من جذور الأشجار. أمَّا مشروب روت بير التقليديّ في أمريكا الشّمالية فمصنوع من الساسافراس.

سُكان جزيرة الملوك في بيع القرنفل إلى شركائهم التقليدين في التجارة من شعب جزيرة جاوة وشعب جزيرة الملايو.

في القرن التالي أصبح الهولنديون، الذين لديهم أسلحة أكثر، ورجال أكثر وأسلحة أفضل، وسياسة استعمار أشد حزمًا وقسوة، سادة تجارة التوابل، بصورةٍ أساسية تحت رعاية شركة الهند الشرقية الهولندية بكلِّ قوتها -تُعرف بالهولندية باسم شركة Verenigde Oostindische Compagnie، ويشار إليها اختصارًا بشركة VOC- التي تأسست في عام 1602. لم يُيَسَّر تحقيق الاحتكار أو ثباته. فقد استغرق وقتًا حتى عام 1667 حتى استطاعت شركة الهند الشرقية الهولندية إتمام السيطرة على جزيرة الملوك، وإجلاء إسبانيا والبرتغال من مواقعهما الاستيطانية القليلة الباقية وسحق القوة المعارضة من السُكان المحليين بلا رحمة.

احتاج الهولنديون، لتوطيد مكانهم بالكامل، إلى أن يُسيطروا على حركة التجارة في جزر الباندا. حصلت معاهدة عام 1602 بهدف إعطاء شركة الهند الشرقية الهولندية الحقوق لشراء كل إنتاج جوز الطِّيب من الجزر، لكن على الرغم من أنَّ توقيع رؤساء الجزر على المعاهدة، فإن مبدأ الحصرية إمَّا إنه لم يُقبل وإمَّا (رُبما) لم يفهمه سُكان جزر الباندا، الذين استمروا في بيع جوز الطيب الذي ينتجونه إلى تجار البضائع الآخرين بأعلى سعر معروض، أي بالمبدأ الذي يفهمونه.

أتت استجابة الهولنديين على هذا بلا رحمة. فأساطيل من السفن، ومئات الرجال وأول عدد ضخم من الحصون البحرية كلها ظهرت في جزر الباندا، وجميعها مصممة لإحكام السيطرة على حركة تجارة

جوز الطيب. بعد سلسلة من الهجمات، والهجمات المضادة والمذابح وتجديد العقود، ونقض معاهدات أكبر، تصرف الهولنديون بعزيمة أكبر. دُمِّرت بساتين أشجار جوز الطيب عدا الأماكن التي بُنيت حولها الحصون البحرية الهولندية. أُحرقت قرى جُزر الباندا بأكملها، وأُعدم الزعماء، وسُبِيَ الشعب الذي ظَلَّ موجودًا تحت حُكم مستوطنين هولنديين أتوا ليشرفوا على إنتاج جوز الطيب.

أمَّا التهديد الوحيد الذي يقف أمام استكمال احتكار التجارة على يد شركة الهند الشرقية الهولندية فهو استمرار الوجود الإنجليزي في جزيرة ران، التي تبعد بعدًا كبيرًا عن جزر الباندا، وظل لسنين قبل توقيع الزعماء على معاهدة التجارة مع الإنجليز. هذه الجزيرة المرجانية، حيث تملأها أشجار جوز الطيب الهائلة إلى حدٍّ أنها غطت الجروف البحرية، صارت مسرحًا لكثير من عمليات القتال الدمويّة. بعد حصارٍ وحشيّ، والغزو الهولنديّ، والمزيد من أعمال تخريب بساتين جوز الطيب، ومع معاهدة بريدا لعام 1667 تنازل الإنجليز عن جميع مطالبهم بجزيرة ران في مقابل الحصول على إعلان رسميّ بتخلي الهولنديين عن حقوق جزيرة مانهاتن. صارت نيو أمستردام ولاية نيويورك، وحظي الهولنديون بجوز الطيب.

على الرغم من كل هذه الجهود، فإن احتكار هولندا لتجارة جوز الطيب والقرنفل لم يستمر. في عام 1770 استطاع دبلوماسيّ فرنسي تهريب شتلات القرنفل من جزيرة الملوك إلى مستعمرة موريشيوس الفرنسية. ومن مستعمرة موريشيوس استطاعوا الانتشار على طول ساحل شرق إفريقيا وبخاصة زنجبار، حيث سرعان ما أصبح القرنفل سلعة التصدير الأساسية.

أمَّا جوز الطِّيب، على العكس، أُثبت علانية صعوبة زراعته خارج موطنه الأصليّ في جزر الباندا. فالشجر يتطلب تُربة غنية ورطبة وجيدة التصريف، وظروف جوّية حارة ورطبة بعيدًا عن الشمس والرياح القوية. على الرغم من الصعوبة التي واجهها المنافسون في ترسيخ زراعة جوز الطيب في مكان آخر، أخذ الهولنديون احتياطاتهم بغمس جوز الطيب كاملًا في جيرٍ (هيدروكسيل الكالسيوم أو الجير المطفأ) قبل تصديره، لإبطال أي احتمالية لإنبات جوز الطيب. في النهاية تمكن البريطانيون من إدخال شجر جوز الطيب إلى سنغافورة وجزر الهند الغربية. أصبحت جزيرة جرينادا الكاريبية معروفة باسم «جزيرة جوز الطِّيب» وهي الآن المُنتِج الأساسي للتابل.

لا شك أن التجارة العالمية للتوابل كانت لتستمر لولا ظهور أجهزة التبريد. فنظرًا إلى أنَّ الفلفل والقرنفل وجوز الطيب لا يتطلب لنقلهم وجود مواد حافظة، فإن الطَّلب الكبير على البيبرين واليوجينول والإيزويوجينول، والجزيئات العطرية الأخرى لهذه التوابل المستوردة، قد زاد. الآن لا يزال الفلفل والتوابل الأخرى تنمو في الهند، لكنها لم تعد سلع التصدير الأساسية. أمَّا جزيرتا تيرنات وتيدور ومجموعة جزر الباندا، التي هي الآن جزء من إندونيسيا، فهي أبعد مما يُمكن. لم يعد تشد إليها الرحال كثيرًا عن طريق إبحار السُّفن العظيمة التي تسعى لشحن هياكلها بالقرنفل وجوز الطيب، تسكن هذه الجزر الصغيرة تحت الشمس الحارَّة، يزورها فقط موسميًّا السُياح الذين يستكشفون الحصون البحرية القديمة الهولندية المتداعية أو الغوص إلى الشعاب المرجانية النظيفة.

الفتنة التي أشعلتها التوابل إنَّما هي فتنة ماضية ولَّت. ما نزال نستمتع بآثارها من خلال النكهات الغنية الدافئة ومركباتها التي تُضاف إلى طعامنا، لكن نادرًا ما نفكر في الثروات التي جمعوها، وفي النزاعات التي أثاروها، والمناقب المذهلة لاكتشافاتهم التي استلهموها.

الفصل الثاني

حمض الأسكوربيك

إنَّ عصر الاستكشاف لزاخرٌ بجزيئات قامت بسببها حركة التجارة، لكن افتقر إلى مُرَكَّب آخر مختلف قليلًا تقريبًا تسبب في نهايته. أكثر من 90 بالمئة من طاقم السفن لم ينجُ من رحلات ماجلان حول العالم في الأعوام من 1519 إلى 1522، يُعزى السبب الأكبر إلى مرض الإسقربوط، المرض المُدمِّر الذي يحدث بسبب نقص في جزيء حمض الأسكوربيك، فيتامين ج الغذائيّ.

الإرهاق والضعف، تورم في الذراعين والساقين، ضعف اللثة، كدمات شديدة، نزيف من الأنف والفم، رائحة أنفاس كريهة، إسهال، ألم في العضلات، تساقط الأسنان، مشكلات في الرئة والكلية؛ قائمة أعراض مرض الإسقربوط طويلة ومرعبة. تُعزى الوفاة عادة كنتيجةٍ إلى الإصابة بعدوى حادَّة مثل الالتهاب الرئويّ أو أي مرض في الجهاز التنفسيّ، أو، وبخاصة للشباب، بسبب قصور القلب. أحد الأعراض، وهو الاكتئاب، يحدث في مرحلة مُبكرة، لكن ليس معروفًا ما إذا كان أثرًا للمرض الحاليّ أو هو مجرد استجابة لأعراض أخرى. في النهاية، لو أنَّك تشعر بإرهاق مستمر ولديك قروح لم تُشفَ واللثة تنزف وتُؤلم، ورائحة أنفاسك كريهة، وتصاب بالإسهال، ولا تدري إذا كان الأسوأ لم يأتِ بعد، ألن تشعر بالاكتئاب كذلك؟

مرض الإسقربوط مرضٌ قديم. يُعتقد أنَّ التغير في تركيب العظام التي وُجدت في بقايا العصر الحجري الحديث متطابق مع الإصابة بمرض الإسقربوط، والكتابة الهيروغليفية من مصر القديمة قد أشارت، عند ترجمتها، إليه. قيل إن كلمة إسقربوط، سكِرڤي مشتقة من الإسكندنافية القديمة، لغة محاربي الفايكنج البحريين الذين أغاروا بدءًا من القرن التاسع، على الساحل الأطلسي لأوروبا من أوطانهم الشمالية في الدولة الإسكندنافية. شاع نقص الفواكه والخضراوات الغنية بالفيتامين على متن السفن وفي المجتمعات الشمالية خلال فصل الشتاء. ومن المفترض أنَّ محاربي الفايكنج استغلوا حشيشة الإسقربوط[1]، نوع من نبات الرّشاد[2] في القطب الشماليّ، في أثناء طريقهم إلى أمريكا عبر طريق جرينلاند. يعود أول ما يُسمى وصفًا حقيقيًّا على الأرجح يوضح تاريخ مرض الإسقربوط إلى تاريخ الحروب الصليبية في القرن الثالث عشر.

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي لها الملعقية، وتعرف كذلك باسم حشيشة الملاعق، وهو نبات أوروبي صغير ذو أوراق لحمية بنكهة القطران، ينمو بالقرب من البحر. غني بفيتامين ج، وسابقًا اعتاد البحارة تحديدًا تناوله للوقاية من مرض الإسقربوط.

(2) ملحوظة المترجمة: عُشبة حولية سريعة النمو خضراء الورق، رائحتها تشبه رائحة الجرجير والخردل، وهي صالحة للأكل.

الإسقربوط في البحر

في القرنين الرابع عشر والخامس عشر، عندما تيسرت السُبل لخوض رحلات بحرية أطول بفضل تطور الأشرعة على أنحو أكثر كفاءة والسفن المجهزة تجهيزًا كاملًا، صار الإسقربوط أمرًا شائعًا في عباب البحر. فالقوادس التي تُدفع بالمجاديف، كتلك التي استعملها اليونانيون والرومان، وقوارب الإبحار الصغيرة التي استخدمها تجار البضائع العرب، ظلتْ راسيةً قريبًا إلى حدٍّ ما من السَّاحل. هذه المراكب ليست صالحة للإبحار تمامًا إلى حدِّ أن تحتمل المياه العاتية والأمواج المتلاطمة الضخمة في المحيط المفتوحة. وتبعًا لذلك، فإنها نادرًا ما تحركت بعيدًا عن الساحل، وأمكن إعادة تزويدها بالإمدادات كل بضع أيام أو أسابيع. والحصول على الطعام الطازج على فترات منتظمة يعني أَنَّ مرض الإسقربوط نادرًا ما كان مشكلة كبيرة. لكن في القرن الخامس عشر، لم تكن الرحلات البحرية الطويلة إلى المحيط في سفن إبحارٍ ضخمة نذيرًا عامًا فقط لعصر الاستكشاف بل وكذلك للاعتماد على الطَّعام المحفوظ كذلك.

لزم على السفن الأكبر أن تحمل البضائع المنقولة والأسلحة، واضطر الطاقم الأكبر التعامل مع المعدات ورحلات الإبحار الأشد تعقيدًا، والماء والغذاء لشهور في البحر. وزيادة عدد متون السُفن وعدد الرجال وكمية الإمدادات تُرجمت لا محالة إلى ظروف معيشة وأسلوب نومٍ صعب لاقاه طاقم السفن، وسوء التهوية، وزيادة لاحقة في عدد الأمراض المعدية ومشكلات الجهاز التنفسي. صار الاستنزاف (مرض السُّل) و«إسهال الدَّم» (نوع خبيث من

الإسهال) شائعين كما أنه، وبلا شك، انتشر قمل الجسد والرأس، والجرب وغيرها من مشكلات أمراض الجلد المعدية.

لم يسهم طعام البحّار الاعتيادي في تحسين صحته. فَرَضَ عاملان مُهمان اثنان أمرَ اتباع النظام الغذائي البحري. الأول، السُّفن ذات المتون الخشبية، فكان يصعب إلى حدٍّ كبير الاحتفاظ بأي شيء، بما في ذلك الطعام، الجاف أو الخالي من النمو البكتيري. امتصت بدنُ السفينة الماءَ، لأنَّ المادة المضادة للماء الوحيدة المتاحة هي القار، مادة لزجة داكنة اللون من الراتنج يُحصل عليها كمنتجٍ ثانويّ يأتي من تصنيع الفحم، وُضعت على البُدن من الخارج. أمَّا داخل البُدن نفسه، تحديدًا حيث تصير التهوية سيئة، فظل رطبًا إلى درجة كبيرة. أتت روايات كثيرة عن رحلات الإبحار تصف الرطوبة المستمرة، مع نمو العفن والفطريات على الملابس والأحذية والأحزمة الجلدية والفراش والكتب. تقاضى البحارة عادةً لحم البقر المملح أو لحم الخنزير وبسكويت السفينة المعروف باسم *هارد تاك*، وهو خليط من الدقيق والماء من دون ملح يُخبز ليصير قاسيًّا كما الصخر ويُستخدم بديلًا عن الخبز. ولهذا البسكويت *هارد تاك* مزية وهي أنه مقاوم نسبيًّا للعفن الفطري. ففي عملية خبزه صار قاسيًا إلى درجة من الصلابة إلى حد أنه ظل صالحًا للأكل لعقود من الزمن، لكن المشكلة في صعوبة قضمه، وبخاصة صعب على أولئك الذين التهبت لثتهم بسبب ظهور مرض الإسقربوط. عادة، أصاب بسكويت السفينة وباء السُوس، وهو المشكلة التي رحب بها البحّارة حقيقةً نظرًا إلى أن نخَر السوس زاد من فتحات البسكويت وجعلته أيسر وأسهل في الكسر والمضغ.

أمَّا العامل الآخر الذي يحكم هذا النظام الغذائي على ظهور السفن الخشبية، فكان الخوف من النَّار. فالهيكل الخشبي والاستخدام على نحو متكرر لمادة القار سريعة الاشتعال إلى حدٍ كبير يعني أن اتخاذ الحذر والحيطة بصورة مستمرة أمرًا ضروريًّا لمنع نشوب الحريق في البحر. ولهذا السبب لم يُسمح بإشعال النار في مكانٍ على ظهر السفن إلَّا في القوادس ثم لم يُسمح بذلك إلَّا في وقت الجوِّ الهادئ نسبيًّا. عند أوّل إشارة إنذارًا بهبوب الجوِّ العاصف، تُطفئ النيران المشتعلة على القوادس حتَّى تنتهي العاصفة. لم يعد الطَّبخ في الإمكان لمدة أيَّام في وقت واحد. لم يُستطع غلي اللحم المملّح في الماء لعدد الساعات الكافية لتقليل درجة ملوحتها؛ ولم يُمكن إعداد البسكويت على نحوٍ مستساغ بوضعه في حساء أو مرق ساخن.

في بداية الرَّحلات البحرية، حُمِّل زاد الطَّعام إلى ظهر السفينة وهو كالآتي: زبدٌ، وجُبن، وخل، وخبز، وبازلاء جافة، وجعة ومشروب رُم. سرعان ما يلحق بالزبدة زَنخٌ وتفسد، ويتعفن الخبز، ويُصيب البازلاء الجافة وباء السُوس، ويصبح الجبن قاسيًّا، وتصير الجعة لاذعة. لا توفر أيّ من هذه العناصر فيتامين ج، ولذلك كثرت أعراض مرض الإسقربوط بوضوح بعد مدة قصيرة بنحو ستة أسابيع بعيدًا عن الميناء. لذا هل لا يزال عجيبًّا أنَّ تلجأ أساطيل الدول الأوروبية إلى التجنيد العسكري البحري الإجباريّ كوسيلة من وسائل تشغيل سفنها؟

سُجِّل حصاد مرض الإسقربوط لحيوات البحارة وصحتهم في سجلات الرحلات البحرية الأولى. بحلول الوقت الذي أبحر فيه المستكشف البرتغالي فاسكو دي جاما حول الطرف الجنوبي لإفريقيا في عام 1497، كان مئة من أفراد طاقمه المكون من مئة وستين فردًا قد ماتوا بسبب مرض الإسقربوط. توجد تقارير عن اكتشاف سفن تائهة في البحر مع وفاة أطقم كاملة بسبب المرض. تشير التقديرات إلى أن مرض الإسقربوط ظلَّ لقرون كثيرة مضت مسؤولًا عن نسب الوفيات في البحر أكثر من جميع الأسباب الأخرى؛ عدد أكبر من إجمالي الأعداد المتوفاة في المعارك البحرية والقرصنة وتحطّم السفن والأمراض الأخرى.

مما يُثير الدَّهشة أنَّ الوسائل الوقائية والعلاجية للتعافي من مرض الإسقربوط ظلت معروفة خلال هذه السنين، لكن جرى تجاهلها على مدى واسع. في وقتٍ باكرٍ أي في القرن الخامس، ظلَّ الصينيون يزرعون الزنجبيل الطازج في أصص على متن سُفنهم. ظلَّ الاعتقاد أنَّ الفواكه والخضروات الطازجة يُمكنها تخفيف أعراض مرض الإسقربوط، بلا شك، منتشرًا في الدول الموجودة في جنوب شرق آسيا وعلى اتصال بالسفن التجارية الصينية. رُبَّما تناقل هذا الاعتقاد إلى الهولنديين وأخبروا به الدول الأوروبية الأخرى لأنَّ، بحلول عام 1601، أوَّل أسطول من شركة الهند الشرقية الإنجليزية عُرِف أنَّه حمل معه برتقال وليمون مقطوف من مدغشقر في طريقه إلى الشرق. هذا السرب من الأسطول المكوِّن من أربع سفنٍ يأمره الكابتن جيمس لانكستر، الذي حمل عصير ليمون في زجاجةٍ معه على متن سفينة

الأميرال، *ذا دراجون* أيٌّ من يظهر عليه عَرض من أعراض مرض الإسقربوط يزوَّد بجرعةٍ ثلاث ملاعق صغيرة من عصير الليمون كل صباح. وعند الوصول إلى طريق رأس الرجاء الصَّالح، لم يعانِ أيٌّ من كان على متن سفينة *ذا دراجون* مرضَ الإسقربوط، لكنَّ نسبة الوفيات في السفن الثلاثة الأخرى كانت كبيرة. بغض الطّرف عن تعليمات لانكستر واتخاذه مثالًا، فما يقرب من ربع طاقم السفن في بعثته مات بسبب مرض الإسقربوط، ولم يمت أي أحدٍ على متن سفينته الرئيسة.

قبل حوالي خمسة وستين عامًا كان أفراد طاقم البعثة الثانية للمستكشف الفرنسي جاك كارتييه إلى *نيوفاوندلاند وكيبيك*، تأثروا تأثرًا بالغًا من جراء تفشي مرض الإسقربوط الشديد، مما أدى وفاة عدد كبير منهم. أُجريت تجربة ضخ إبر شجرة التنوب، بوصفها علاجًا اقترحه الهنود المحليون، وظهرت نتائج خارقة على ما يبدو. بين عشية وضحاها تقريبًا قيل إن الأعراض تراجعت واختفى المرض بسرعة. في عام 1593، ادعى السير ريتشارد هوكينز، أميرال البحرية البريطانية، أنه من خلال تجربته الخاصة، مات ما لا يقلّ عن عشرة آلاف رجل في البحر بسبب مرض الإسقربوط، لكن عصير الليمون صار علاجًا فعالًا على الفور.

كما سُجِّلت روايات عن طرق علاجية ناجحة للشفاء من مرض الإسقربوط. في عام 1617، وصف جون وودال في كتابه The Surgeon's Mate عصير الليمون على أنَّه وصفة طبية مقررة للعلاج والوقاية معًا. بعد ثمانين سنة، أوصى ويليام كوكبيرن في كتابه

Sea Diseases, or the Treatise of their Nature, Cause and Cure بتناول الفواكه والخضراوات الطازجة. أمَّا المقترحات الأخرى مثل الخل والماء المالحة والقرفة والقمح فهي بلا فائدة إلى حدٍ ما وقد تؤثر سلبًا في الإجراءات الصحيحة للعلاج.

ما زال الأمر كذلك حتَّى حلول منتصف القرن التالي حتى أُثبت أنَّ عصير الحمضيات له فعالية في أوائل الدراسات السريرية الخاضعة للرقابة. على الرغم من أنَّ أعداد الحالات في هذه الدراسات عدد ضئيل، فإن الاستنتاج صار واضحًا. في عام 1747، اختار جيمس ليند، جراح في الأسطول الإسكتلندي في البحر في سالزبوري، اثني عشر فردًا من الطاقم يعانون مرض الإسقربوط ليخضعوا لتجربته. انتقى رجالًا تبدو الأعراض الواضحة عليهم متشابهة قدر الإمكان. أمر أن يتناولوا جميعهم الطَّعام نفسه وفق نظام غذائي؛ ليس اللحم المملح وبسكويت هارد تاك المعتادين، اللذين وجد فيهما المرضى صعوبة في البلع، بل عصيدة حلوة، ومرق ضأن، وبسكويت مغلي، وشعير، وبذور الساجو، والأرز والزبيب والكشمش والنبيذ. أضاف ليند مكملات غذائية متنوعة إلى نظام الكربوهيدرات هذا. حصل اثنان من البحارة على ربع لتر من عصير التفاح يوميًّا. أما جرعات الخل فمن نصيب اثنين آخرين، وتلقى زوج آخر تعس الحظ إكسيرًا مخففًا من الزاج (أو حمض الكبريتيك). طُلب من اثنين آخرين شرب نصف لتر من مياه البحر يوميًا، وحصل اثنان آخران على تغذيتهما من خليط من جوز الطيب والثوم وبذور الخردل وصمغ المر وكريمة التارتار وماء الشعير. أمَّا الاثنان الآخران اللذان حالفهما الحظ، فحصلا يوميًا على برتقالتين وليمونة واحدة لكل منهما.

أتت النتائج مفاجئة وواضحة وما نتوقعه نحن بالمعرفة التي تحصلنا عليها اليوم. خلال ستة أيَّام شُفِيَ الرَّجلان اللذان حصلا على غذاء الحمضيات والفواكه. وكما نأمل، حصل العشرة رجالٍ الآخرون، بعدما توقفوا عن شرب مياه البحر أو جوز الطيب أو حمض الكبريتيك، على الليمون والبرتقال. نُشرت نتائج ليند في مقالة بعنوان A Treatise of Scurvy، لكن مرَّت أربعون سنة أخرى قبل أن يشرع الأسطول البحري البريطاني في التصدير الإلزامي لعصير الليمون.

إذا عُرف العلاج الفعَّال لمرض الإسقربوط، فلماذا لم يُستفد منه ويُستخدم بصورة روتينية؟ من المُحزن، أنَّ علاج الإسقربوط، على الرغم من ثبات نجاحه، يبدو أنَّه لم يُعترف به أو يصدقه أحد. انتشرت نظرية تلقي بسبب الإصابة بمرض الإسقربوط على النظام الغذائي المتبع الذي يتضمن تناول كمية كبيرة من اللحم المملح أو عدم الحصول على اللحم الطازج، أكثر من إلقاء السبب على نقص الخضراوات والفواكه الطازجة. أضف إلى ذلك، نشأت مشكلة لوجستية: من الصعب الاحتفاظ بحمضيات الفواكه الطازجة أو عصيرها لمدة أسابيع في الرحلة الواحدة. جرت محاولات لتركيز عصير الليمون وحفظه، لكنَّ إجراءات كهذه مستهلكة للوقت، ومكلفة ورُبما لا تحقق الغرض المطلوب، لأننا نعلم الآن أن فيتامين ج يسهل تكسيره بالحرارة والضوء والتخزين لمدة طويلة وتقل كميته الموجودة في الفواكه والخضراوات.

بسبب التكلفة وعدم الملائمة، رأى الضباط البحريون والأطباء والأميرالية البريطانية ومُلاك السُفن، أنَّه ما من طريقة لزراعة خضار أو فواكه حمضية كافية على السُّفن المحملة ببضائع ضخمة. يجب استخدام مساحة تخزين البضائع المنقولة الغالية لهذا الغرض. كما أن الحمضيات الطازجة أو المحفوظة باهظة الثمن، وبخاصةٍ لو أنَّها خُصصت يوميًّا بوصفها إجراءً وقائيًّا. الاقتصاد وهامش الربح هما المتحكمان في ذلك، على الرغم من أنه يبدو، بعد فوات الأوان، أن هذا كان اقتصادًا زائفًا[1]. لزم أن تصبح السفن مأهولة بطاقة فوق طاقتها فتسببت بمعدل وفيات يصل إلى 30 أو 40 أو حتى 50 بالمائة من مرض الإسقربوط. حتى من دون معدل وفيات مرتفع، فإن فعالية الطاقم الذي يعاني مرض الإسقربوط ستنخفض بصورةٍ ملحوظة. وثم وكان هناك العامل الإنساني، الذي نادرًا ما يؤخذ في الحُسبان في هذه القرون.

العنصر الآخر هو تعنت متوسط طاقم السفينة. فهم اعتادوا تناول أجرهم الاعتيادي من السَّفينة، وعلى الرغم من أنهم اشتكوا من النظام الغذائي الرتيب المكون من اللحوم المملحة وبسكويت السفينة عندما يخضون عباب البحر، فإن طلباتهم في الميناء هي الكثير من اللحوم الطازجة والخبز الطازج والجبن والزبدة وجعة طيّبة. حتى لو كانت الفواكه والخضروات الطازجة متوافرة، فإن غالبية أفراد الطاقم لم يهتموا بتناول وجبة سريعة من الخضار المقرمش

(1) ملحوظة المترجمة: هو إجراء اقتصادي يهدف إلى توفير المال في البداية، لكن ينتهي الحال بزيادة الإنفاق وتكبد خسائر.

المقلي. بل أرادوا اللحوم والمزيد من اللحوم، مسلوقة أو مطهية أو مشوية. أمَّا الضباط، الذين ينتمون عمومًا إلى طبقة اجتماعية عليا، حيث شاع بينهم نظام غذائي أوسع وأكثر تنوعًا، فوجدوا أن تناول الفاكهة والخضروات في الميناء أمر طبيعي وربما مقبول إلى حدٍّ كبير. لم يعتادوا من قبل أن يهتموا بتجربة المواد الغذائية الجديدة الغريبة التي يمكن العثور عليها في المناطق التي وصلوا إليها. كان من الممكن تناول التمر الهندي والليمون الحامض والفواكه الأخرى التي تحتوي على نسبة عالية من فيتامين ج في المطبخ المحلي الذي قد يجربونه، على عكس أفراد الطاقم. وهكذا فإن مرض الاسقربوط عادة أقل مشكلة بين ضباط السفينة.

كوك: الأعداد الكبيرة المصابة بمرض الإسقربوط: صفر

جيمس كوك التَّابع لأسطول البريطاني الملكي هو أوّل قُبطان سفينة يضمن سلامة طاقم سفينته المتبقي من مرض الإسقربوط. ارتبط اسم كوك أحيانًا باستكشاف *مضادات مرض الإسقربوط*، هكذا تُسمَّى الأطعمة التي تُستخدم في الوصفات العلاجية من مرض الإسقربوط، لكنَّ اكتشافه القويّ هو في حقيقة الأمر أنَّه أصر على الحفاظ على نظام غذائي وضمان النظافة الشخصية على مستويات عالية ومنضبطة في جميع متون سُفنه ومركباته. فجاءت نتيجة معاييره الدقيقة الصارمة بتأثير جيِّد بصورة غير متوقعة في الصحة وفي عدد حالات الوفاة إذ نقص معدل الوفيات بين أفراد طاقم سفنه. التحق كوك بالأسطول البحري وهو نسبيًّا في أواخر عمر السابع والعشرين، لكن سنوات خبرته التسعة في الإبحار بصفته تاجرًا وزميل بحَّار في

بحر الشمال وبحر البلطيق، وكذا ذكاءه، وفن الملاحة البحرية الذي امتلكه بالفطرة اجتمعت معًا لتضمن حصوله على ترقيات سريعة في رُتب الأسطول البحري. أوَّل تجربة له مع مرض الإسقربوط على متن سفينة *بيمبروك*، في عام 1758، في رحلته البحرية الأولى عبر المحيط الأطلنطي إلى كندا التي هدفت إلى تحدي سيطرة الفرنسيين على نهر سانت لورانس. رنَّ نذير الخوف في نفس كوك بسبب الدمار الذي سببته هذه الكارثة المشتركة كما فزع من إدراك أن ارتفاع عدد الوفيات في كثير من أطقم السفن، والتقليل الخطير من كفاءة العمالة، بل وكذلك خسارة سفنٍ، أمورٌ عادة مقبولة لا مفرَّ منها.

أثارت خبرته في الاستكشاف ورسم الخرائط حول منطقة نوفا سكوتيا، وخليج سانت لورانس، ونيوفاوندلاند وملاحظاته الدقيقة عن كسوف الشمس، إعجابَ الجمعية الملكية إعجابًا هائلًا، والجمعية الملكية هيئة تأسست في عام 1645 الغرض منها «تحسين المعرفة الطبيعية». مُنِحَ له قيادة سفينة *إنديفور* وتلقى تعليمات باستكشاف المحيطات الجنوبية ورسم خرائط لها، للكشف عن نباتات وحيوانات جديدة، ولكتابة ملاحظات فلكية عن دوران الكواكب حول الشَّمس.

توجد أسباب أقلَّ انتشارًا وذيوعًا لكنَّها مقنعة لهذه الرَّحلة ولرحلات كوك البحرية اللاحقة، وهي أنَّها مخصصة لأغراض سياسية. أيّ أن عمليات الاستيلاء باسم بريطانيا على الأراضي التي سبق اكتشافها؛ والمطالبة بحقّ الاستيلاء على الأراضي الجديدة التي ما زالت غير مكتشفة بعد، بما في ذلك الأراضي الجنوبية المجهولة، والقارة الجنوبية الكبرى؛ وآمال العثور على الممر الشمالي الغربي، كلها

أغراضٌ كانت في أذهان الأدميرالة. استطاع كوك أن يلبي كثيرًا من هذه الأهداف مستندًا إلى حدٍ كبير إلى حمض الأسكوربيك.

لنفكر في هذا السيناريو الذي وقع في يوم 10 يونيو لعام 1770، عندما جنحت السفينة إنديفور على الحاجز المرجاني العظيم جنوب المنطقة المعروفة حاليًا في مدينة كوكتاون، في شمال كوينزلاند بأستراليا. الكارثة صارت وشيكة. اصطدمت السفينة بالمياه العالية، وأدى الثقب الناتج في بدن السفينة إلى اتخاذ إجراءات جذريّة. بهدف تخفيف حمل السفينة، عمل الطَّاقم كله على رفع كل ما يُمكن إنقاذه من فوق متن السفينة. لمدة ثلاث وعشرين ساعة كاملة شغلوا المضخات لأنَّ مياه البحر ظلت تتسرب لا محالة إلى المخزن، ثم سحبوا بيأس الكابلات والمرساة في محاولةٍ لسد الثقب باستخدام تقنية *التأجيج*، وهي طريقة مؤقتة لإصلاح ثقب في السفينة من خلال وضع شراعٍ ثقيل إلى بدن السفينة. مجهود هائل، وعُمّال ملاحة بحرية رائعون، وحظ موفق حليف الموقف. تحررت السفينة في النهاية من الشعاب المرجانية واستوت على الشاطئ لإجراء الإصلاحات. إنَّه نداءٌ وشيك وقريب، نداءٌ لم يملك الطاقم المستنزف المُصاب بعدوى الإسقربوط أن يستجمع طاقته ليجيب عليه.

وجود طاقم سفينة بصحةٍ جيّدة وأداء قوي أمرٌ جوهريّ لكوك لكي يُحقق ما فعله في رحلاته البحرية. كما اعترفت الجمعية الملكية بهذه الحقيقة عندما منحته أعلى وسام، وهو ميدالية كوبلي الذهبية، ليس لمآثره الملاحية ولكن لإثباته أن مرض الاسقربوط لم يعد رفيقًا لا مفر من صحبته في الرحلات البحرية الطويلة. طرق

كوك ووسائله يسيرة وسهلة. أصرَّ على الحفاظ على ضمان النظافة في السفينة كلها، ولا سيِّما في الحدود الضيقة لأماكن البحارة. تطلب من الأيدي العاملة غسل جميع ملابسهم بصورة منتظمة، وتجفيف أماكن نومهم وتعريضها للهواء عندما يسمح الجوّ بذلك. تطهير ظهور المراكب بالبخار، وفي العموم أن يلتزموا بكُلّ ما يعنيه مصطلح *حُسن النِّظام* على السفينة من معنى. عندما لم يُستطع الحصول على فواكه وخضروات طازجة فكرَّ هو في ضرورة الالتزام بنظام غذائي متوازن، طلب من رجاله أن يأكلوا مخلل السَّاوركراوت[1] الذي أرفقه في مؤن السفينة. وطأ كوك الأراضي في كل فرصة ممكنة لإعادة ملء المخازن وجمع الأعشاب المحلية (عشب الكرفس وعشب الإسقربوط) أو النباتات التي يُخمَّر منها الشاي.

لم يكن هذا النظام الغذائيّ مقبولًا لدى الطاقم، هم الذين اعتادوا أكل البحارَّة العادي الذي يتقاضونه أجرًا لعملهم وترددوا في تجربة أي شيء جديد. لكنَّ كوك أصرَّ على رأيه. فالتزم هو وضباطه بهذا النظام الغذائي، وبالتالي، باتخاذه مثلًا، وبحكم سلطته وإصراره اتبعه رجاله. لا يوجد في سجلات التَّاريخ روايةُ مَا يُشير إلى أنَّ كوك جلد أي شخصٍ رفض تناول الساوركراوت أو عشب الكرفس، لكنَّ طاقم السفينة يعلم أنَّ القبطان لن يتردد في فرض العَصا لمن يعصي أوامره. كما لجأ كوك إلى نهجٍ أكثر ذكاءً وحنكة. أعلن أنَّ «مخلل الساوركراوت» المُعدّ من نباتات محلِّية مخصص من البداية للضباط فقط؛ وفي غضون أسبوع طالب الأفراد ذوو الرتب الأقل بنصيبهم منه بشراسة.

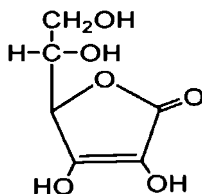
---

(1) ملحوظة المترجمة: هو مخمر الملفوف أو الكرنب.

لا شك أن النجاح ساعد في إقناع طاقم كوك بأن هوس قبطانهم الغريب بما يأكلونه كان أمرًا ثمينًا له قيمة. لم يفقد كوك رجلاً واحدًا قط بسبب الإسقربوط. في رحلته الأولى التي استمرت تقريبًا نحو ثلاث سنوات، مات ثلث طاقمه بعد الإصابة بمرض الملاريا أو الدّوسنتاريا في مدينة باتافيا (تعرف الآن باسم جاكرتا) في جزر الهند الشرقية الهولندية (تعرف الآن بإندونيسيا). في رحلته الثانية من عام 1772 إلى عام 1775، فقد فردًا واحدًا من طاقمه بسبب المرض، لكن ليس بسبب مرض الإسقربوط. لكن في تلك الرِّحلة تأثر طاقم السفينة المرافقة له بهذه المشكلة إلى حدٍّ كبير. تلقى القائد، توبياس فورنو، توبيخًا كثيرًا من كوك وأصدر كوك تعليماته بشأن إعداد مضادات الإسقربوط وتناولها. بفضل فيتامين ج، جزيء حمض الأسكوربيك، استطاع كوك أن يُحقق قائمة مبهرة من الإنجازات: اكتشاف جزر هاواي والحاجز المرجاني العظيم، أول رحلة حول نيوزيلندا، أول محاولة لرسم خريطة لساحل شمال غرب المحيط الهادئ، أول عبور للدائرة القطبية الجنوبية.

جزيء صغير له دورٌ كبير

ما الجزيء الصغير الذي تسبب في أثر كبير كهذا في رسم خريطة العالم؟ اشتقت كلمة فيتامين من اتحاد كلمتين، *فيتال* (ضروري) و*أمين*(مركب عضوي يحتوي على النيتروجين، ساد اعتقاد فيما مضى من البداية أنَّ كل الفيتامينات تحتوي على الأقل على ذرة نيتروجين). يشير حرف الجيم في فيتامين ج إلى أنَّه الفيتامين الثالث الذي جرى اكتشافه.

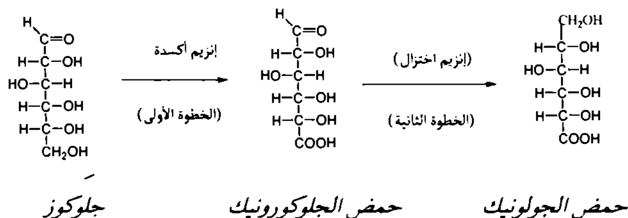


الصيغة البنائية لحمض الأسكوربيك (أو فيتامين ج)

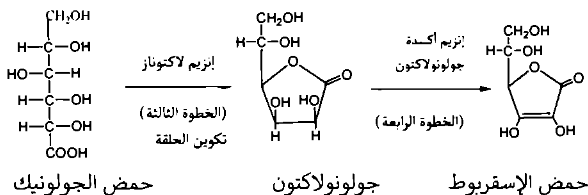
نظام التسمية هذا له أوجه قصور عدة. فيتامين ب وفيتامين هـ هما الفيتامينان الوحيدان اللذان يحتويان على النيتروجين. اكتشف في فيتامين ب الأصلي فيما بعد أنه يتكون من أكثر من مركب، وبالتالي يوجد فيتامين ب1 وفيتامين ب2، وهكذا. أضف إلى ذلك، عُثر على فيتامينات كثيرة مختلفة من المفترض أنَّها المركب نفسه، وبالتالي لا يوجد فيتامين ف أو فيتامين جي.

في الثدييات، في طائفة الرئيسيات فقط، الخنازير الغينية، وخفافيش الفاكهة الهندية هي التي تحتاج إلى فيتامين ج في نظامها الغذائي. أمَّا جميع الفقاريات الأخرى -عائلة الكلاب أو القطط على سبيل المثال- فيُصنع حمض الأسكوربيك في أكبادها من سكر الجلوكوز البسيط من خلال سلسلة من أربعة تفاعلات، يُحفز كل تفاعل بإنزيم ما. ولذلك، لدى هذه الحيوانات، لا يُعد حمض الأسكوربيك ذا ضرورة غذائيّة. كما زُعم، على طول المسار التطوريّ فقد البشر قدرتهم على تصنيع حمض الأسكوربيك من الجلوكوز، وذلك فيما يتضح بسبب فقدان المادة الوراثية المسئولة عن تصنيع *أوكسيديز جولونولاكتون* الإنزيم اللازم للخطوة الأخيرة في سلسلة التفاعلات هذه.

تُعد مجموعة مشابهة من التفاعلات، بترتيب مختلف إلى حدٍ ما، أساس الطريقة الاصطناعية الحديثة (لكنها من الجلوكوز كذلك) لتحضير حمض الأسكوربيك صناعيًّا. الخطوة الأولى هي تفاعل الأكسدة، أي إضافة الأكسجين إلى الجزيء أو إزالة هيدروجين، أو ربما كليهما. أما في العملية العكسية، المعروفة باسم الاختزال، فيُزال الأكسجين من الجزيء أو يضاف الهيدروجين أو ربما كليهما كذلك.



تشمل الخطوة الثانية التخفيض من طرف جزيء الجلوكوز المقابل للطرف الآخر في التفاعل الأوَّل، فيتكون مركب يُعرف باسم *حمض الجولونيك*. أمَّا الجزء التالي من هذه السلسلة، الخطوة الثالثة، فتتضمن تكوين حمض الجولونيك مركب حلقي أو دائري في صورة لاكتون. آخر خطوة من الأكسدة ثم ينتج رابطة مزدوجة من جزيء حمض الأسكوربيك. وهو الإنزيم المحفز للمرحلة الرابعة والأخيرة التي افتقدها الإنسان.



تمت المحاولات الأولى لعزل فيتامين ج وتحديد صيغته الكيميائية من دون نجاح يُذكر. إحدى المشكلات الكبرى هي أنه على الرغم من أن حمض الأسكوربيك موجود بكميات معقولة في العصائر الحمضية، فإن فصله عن بقية السكريات الأخرى والمواد الشبيهة بالسكر الموجودة كذلك في هذه العصائر، كان صعبًا. ليس هناك ما يُثير الدهشة، لذلك، في أنَّ عزل أول عملية عزل عينة نقية من حمض الأسكوربيك لم تكن من النباتات بل من مصدر حيوانيّ.

في عام 1928، عمل ألبرت زينت جيورجي، الطبيب المجري عالم الكيمياء الحيوية الذي عمل في جامعة كامبريدج في إنجلترا، على استخراج أقل من جرامٍ من مادة بلورية من قشرة الغدة الكظرية البقرية، الجزء الدهني الداخلي لزوجين من الغدد الصماء الموجودة بالقرب من كليتي البقر. نسبة وجود المركب فقط 0.03 بالمائة من وزنه في المصدر الذي استخرج منه، لم يُعرف في البداية أنَّه فيتامين ج، ظنَّ زينت جيورجي أنَّه عزل هرمون جديد شبيه بالسكر واقترح تسميته باسم *إجنوز*، إذ يُستخدم النهاية «*وز*» في تسمية السكريات (مثل سكر *الجلوكوز* و*الفركتوز*) والجزء *إج* يُشير إلى أنَّه كان يجهل الصيغة البنائية للمادة. عندما اقترح زينت جيورجي اسمًا آخر، جودنوز[1]، ورفضه كذلك محُرر جريدة بيوكيمياكال (الذي من الواضح أنَّه لم يفهم روح الدُّعابة في هذه التسمية)، استقر على اسمٍ أكثر رزانة ووقار وهو اسم حمض الهِكْسرونيك. عينة زينت

---

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم بالإنجليزية Godnose، وهي سماعيًا تُشبه عبارة God Knows، الرب وحده يعلم.

جيورجي نقية تمامًا إلى حد يسمح بتحليل كيميائي دقيق فتظهر ست ذرات من الكربون في هذه الصيغة C_6H8O6، ولذلك أُضيفت البادئة هِكس[1] إلى اسم حمض الهكسرونيك. وبعد مرور أربع سنواتٍ ظهر أنَّ حمض الهكسرونيك وفيتامين ج، كما ساور الشَّك زينت جيورجي، مركبٌ واحد.

الخطوة التالية لفهم حمض الأسكوربيك هي تحديد صيغته البنائية، مهمةٌ يسهل على تكنولوجيا الواقع المعاصر تحقيقها بسهولةٍ نسبيًّا في وجود كميات ضئيلة منه لكنها تكاد تكون مستحيلة في غياب كميات ضخمة في العقد الثالث من القرن العشرين. من جديد يغرق زينت جيورجي في الحظ السعيد. اكتشف أنَّ البابريكا المجرية غنية تحديدًا بفيتامين ج، وأكثر ما يهم أنَّها تفتقر تحديدًا إلى أنواع السكر الأخرى التي جعلت من عزل المركب من عصارة الفواكه أمرًا صعبًا. بعد أسبوع واحد فقط من العمل فصلَ ما يزيد عن الكيلوجرام من كريستالات فيتامين ج، فكانت كمية أكثر من كافية لمساعدِهِ، نورمان هاورث، أستاذ الكيمياء في جامعة برمنجهام، ليشرع في تحديد الصيغة البنائية بنجاح لما أسماه زينت جيورجي وهاورث فيما بعد ***حمض الأسكوربيك***، وصار معروفًا الآن بهذا الاسم. في عام 1937 اعترف المجتمع العلمي بأهمية هذا الجزيء. نال زينت جيورجي جائزة نوبل في الطب لعمله على إخراج فيتامين ج، ونال هاورث جائزة نوبل في الكيمياء.

---

(1) ملحوظة المترجمة: تُشير البادئة هِكس إلى وجود 6 ذرات كربون في الجزيء، وهي مشتقة من العدد ستة باللغة اللاتينية.

على الرغم من بذل ما يزيد عن ستين سنة في العمل بصورة أكبر، لا نزال لا نعرف تمام المعرفة كل الأدوار التي يلعبها حمض الأسكوربيك في الجسد. له دورٌ حيوي وأساسي في إنتاج الكولاجين، البروتين الأكثر وفرة في مملكة الحيوان، الموجود في الأنسجة الضَّامة التي تربط الأنسجة الأخرى وتدعمها. غياب الكولاجين، بكل تأكيد، يُفسر بعض الأعراض الأوّلية لمرض الإسقربوط: تورم الأطراف، ورقة اللثة، وتخلخل الأسنان. يُقال إن ما لا يقل عن عشرة ميللجرامات يوميًّا من حمض الأسكوربيك كمية كافية تحمي من الإصابة بأعراض مرض الإسقربوط، على الرغم أنَّه عند هذا المستوى يُحتمل وجود مرض الإسقربوط بصورة دون سريرية (أي نقص فيتامين ج في الخلايا لكن لا تظهر أعراض جسيمة). لا تزال الأبحاث في مجالات متنوعة مثل علم المناعة والأورام والأعصاب والغدد الصماء والتغذية تكتشف تدخل حمض الأسكوربيك في مسارات بيوكيميائية كثيرة.

أحاط الجدل وكذلك الغموض لمدة طويلة بهذا الجزيء الصغير. تجاهل الأسطول البحري الإنجليزي توصيات جيمس ليند بصورةٍ مخزية لما يقرب من أربعين سنة. يُزْعَمُ أنَّ شركة الهند الشرقية حجبت مضادات الإسقربوط عن عمدٍ في الأغذية من أجل أن يظلَّ بحاروها ضعفاء ويسهل السيطرة عليهم. في الوقت الحاضر تُجرى مناقشات عن مدى أهمية الدور الذي يلعبه فيتامين ج في علاج مجموعة كبيرة من الحالات. كُرِّم لينوس باولينج في عام 1954 بحصوله على جائزة نوبل في الكيمياء لأبحاثه في الروابط الكيميائية ونال مرَّة أخرى جائزة نوبل في عام 1962 لأنشطته المعارضة لاختبار الأسلحة

النووية. في عام 1970، أصدر حائز نوبل مرتين أول مجموعة من المنشورات عن دور فيتامين ج في الطب، وأوصى بجرعات عالية من حمض الأسكوربيك للوقاية والعلاج من نزلات البرد، والإنفلونزا، والسرطان. على الرغم من مكانته العلميّة بصفته عالمًا، لم تقبل الهيئة الطبية عمومًا آراء باولينج.

المُخصص اليوميّ المُوصى به (RDA) من فيتامين ج للبالغين عادة ستين ميلليجرامًا كل يوم، كمية كهذه تُوجد في ثمرة برتقال صغيرة. يتغير هذا المخصص اليومي بمرور الوقت ووفقًا للبلدان المختلفة، رُبما تشير إلى قلة فهمنا للدور الفسيولوجي الكامل لهذا المركب غير البسيط تمامًا. اتفق على أنَّ المخصص اليومي بجرعات أكبر ضروري للحوامل والمرضعات. أمَّا أكبر مخصص يومي فيُوصى به لكبار السن، السن التي غالبًا تقل فيها تناول فيتامين ج بسبب النظام الغذائي الضعيف أو نقص الاهتمام في الطبخ والأكل. فمرض الإسقربوط الآن ليس غير معروفٍ بين كبار السن.

تتناسب الجرعة اليومية وهي 150 ميليجرامًا من حمض الأسكوربيك عادةً مع مستوى التشبع، كما أنَّ تناول المزيد من حمض الأسكوربيك لا يؤذي إلا إلى زيادة نسبة حمض الأسكوربيك في بلازما الدم. ونظرًا إلى أنَّ فيتامين ج يجري التخلص منه عن طريق الكُلى، فزعم أنَّ الخير الوحيد الذي تعود به الجرعات الكبيرة هو توفير الأرباح لشركات الأدوية. يبدو الأمر، مع ذلك، أنَّ الجرعات الأكبر رُبما تصير ضرورية في ظل ظروفٍ ما مثل العدوى والحمى وللتعافي من الجروح والإسهال وقائمة طويلة من الحالات المزمنة.

تستمر الأبحاث عن دور فيتامين ج في علاج أكثر من أربعين حالة مرضية؛ التهاب الجراب[1]، والنقرس، وداء كرون[2]، والتصلب المتعدد، والقرحة الهضمية، والسمنة، والفصال العظمي، وداء الهربس التناسلي، ومرض باركنسون، والأنيميا، ومرض القلب التَّاجي، وأمراض المناعة الذاتية، وحالات الإجهاض، والحمى الروماتيزمية، ومرض إعتام عدسة العين، والسكري، وحالات الإدمان على الكحول، والفصام، والاكتئاب، ومرض الزهايمر، والعقم، ونزلات البرد، والإنفلونزا، والسرطان، على سبيل المثال لا الحصر. عندما تنظر إلى هذه القائمة، لعلك تفهم سبب وصف هذا الجزيء أحيانًا على أنَّه جزيء «الشَّباب في زجاجة» على الرغم من أن نتائج الأبحاث لا تدعم حتى الآن جميع المعجزات الشفائية المزعومة.

ما يزيد عن خمسين ألف طنٍ من حمض الأسكوربيك يُصنع سنويًّا. يُنتج صناعيًا من الجلوكوز، ويصبح فيتامين ج الصناعيّ مطابقًا تمامًا في كل شيء نظيره الطبيعيّ. لا يوجد اختلاف فيزيائي أو كيميائي بين حمض الأسكوربيك الطبيعي والمصنع، لذلك ما من سببٍ لشراء نسخة غالية الثمن تُسوق على أنَّها «فيتامين ج الطبيعي، مستخرج بعناية من ثمر الوردة البرية النادرة *روزا ماكروفيلا*، التي تنمو على المنحدرات النظيفة لجبال الهيمالايا السُفلية.» حتى لو أنَّ

(1) ملحوظة المترجمة: هو التهاب مؤلم يأتي في صورة أكياس صغيرة مليئة بالسؤال تستقر في العظام والأوتار والعضلات بالقرب من المفاصل.

(2) ملحوظة المترجمة: يسبب هذا المرض تورمًا في أنسجة بطانة الجهاز الهضمي بداية من الفم وحتى فتحة الشرج.

المركب يُستخرج نفسه من هذا المصدر، وهو حقًّا فيتامين ج، فإنه مطابق تمامًا لفيتامين ج الذي يُصنع بالأطنان من الجلوكوز.

هذا لا يعني أن نقول إن حبوب الفيتامين المصنع يُمكنها أن تحل محل الفيتامينات العادية في الأغذية والأطعمة. ابتلاع حبة بوزن سبعين ميللجرامًا من حمض الأسكوربيك قد لا تسبب الآثار نفسها التي يسببها سبعون ميللجرامًا من فيتامين ج الذي يُحصل عليه من تناول ثمرة برتقال متوسطة الحجم. أمَّا المواد الأخرى الموجودة في الفواكه والخضراوات، مثل تلك المواد المسئولة عن إعطائها ألوانها البرَّاقة، فقد تساعد في عملية امتصاص فيتامين ج أو بطريقةٍ ما، لا تزال غير معروفة، تعزز من تأثيره.

الاستخدام التجاريّ الأساسي لفيتامين ج اليوم هو حفظ الطعام، حيث يعمل بصفته مضاد للأكسدة ومضاد للميكروبات. في السنوات الأخيرة يُنظر إلى مواد حفظ الطَّعام على أنَّها مواد ضارة. فانطلق شعار «خال من المواد الحافظة» كثيرًا على أغلفة تعبئة الطعام. على الرغم من أنَّه من دون المواد الحافظة فإن زادنا من الطعام سيغدو ذا مذاق سيئ، ورائحة سيئة، وغير صالح للأكل، وقد يقتلنا كذلك. غياب المواد الحافظة الكيميائية سيُسبب كارثة خطيرة في زادنا من الغذاء مثل تلك الكارثة التي يسببها توقف أجهزة التبريد والتجميد.

يُمكن حفظ الفاكهة بصورةٍ آمنة من خلال عملية التعليب عند درجة حرارة الماء المغلي، فالفاكهة عادة حمضية بدرجة تكفي لمنع نمو الميكروب القاتل *المِطَثِّيَّة الوَشِيقِيَّة*. يجب تعريض الخضراوات واللحوم التي تحتوي على كمية أقل من الحموضة إلى درجات حرارة

أعلى لقتل هذه الكائنات الحية المجهرية. يُستخدم حمض الأسكوربيك غالبًا في تعليب الفاكهة في المنزل بصفته مضاد للأكسدة ليمنع تحولها إلى اللون البُنيّ. كما أنه يزيد من الحموضة ويحمي من التسمم الوشيقي، وهو الاسم الذي يعني التسمم الغذائي الناتج عن السم الذي يُنتجه الميكروب. لا يُمكن للمطثية الوشيقية أن تنجو داخل جسم الإنسان. لكن السم الذي تنتجه الأطعمة المعلبة بصورة غير صحيحة هو الذي يُمثل خطورة على الإنسان، على الرغم من عدم تناول هذا السُّم. فكمية صغيرة من السُّم المنقى المحقون تحت الجلد تقطع نبضات العصب وتُسبب شلل العضلات. النتيجة التي تحصل في النهاية هو محو مؤقت للتجاعيد، وهذا هو عِلاج البوتكس الذي ينال شعبية متزايدة.

على الرغم من أنَّ علماء الكيمياء صنّعوا مواد كيمياوية سامة كثيرة، فإن في الطبيعة مواد قاتلة بصورةٍ أكبر. توكسين البوتولينيوم أ، الذي يُنتج من *المطثية الوشيقية*، هو أشد السموم المعروفة فتكًا، بقوّة أكبر مليون مرة من الديوكيسين، وهو السم الأكثر فتكًا من صنع الإنسان. أمَّا توكسين البوتولينيوم أ، فإن الجرعة المميتة التي تقتل 50 بالمائة من مجموعة الاختبار (LD50[1]) هي $3X^{8-}10$ ملليجرام لكل كيلوجرام. أي مجرد 0.0000003 ملليجرام من توسكين البوتولينوم أ لكل كيلوجرام من وزن الجسم هي التي

(1) ملحوظة المترجمة: متوسط الجرعة المميتة أي كمية المادة السَّامة التي تقتل ٪50 من الحيوانات أو الكائنات قيد الاختبار. تُقدر بالمللي جرام من المبيد لكلِّ كيلوجرام من وزن جسم الحيوانات المقتولة.

تقتل هذا الجسم. أمَّا الديوكيسين، فإن الجرعة المميتة هي $3X10^{-2}$ ملليجرام لكل كيلوجرام، أي إن 0.03 ملليجرام لكل كيلوجرام من وزن الجسم. جرى تقدير يفيد بأنَّ الأونصة الواحدة من توسكين البوتولينوم أ يمكنها قتل 100 مليون شخص. هذه الأرقام تجعلنا بلا شك نُعيد التفكير في تصرفاتنا تجاه الشرور المدركة للمواد الحافظة.

مرض الإسقربوط في الجليد

حتى في أوائل القرن العشرين، ظل عدد قليل من مستكشفي القارة القطبية الجنوبية يدعمون النظريات القائلة بأن تعفن الأطعمة المحفوظة، والتسمم الحمضي في الدم، والالتهابات البكتيرية هي أسباب الإسقربوط. على الرغم من حقيقة أن التناول الجبري لعصير الليمون قد قضى فعليًا على مرض الإسقربوط في الأسطول البحري البريطاني في أوائل القرن التاسع عشر، وعلى الرغم من الملاحظات التي تشير إلى أن سكان الإسكيمو في المناطق القطبية الذين تناولوا اللحوم الطازجة الغنية بفيتامين ج، فإن قلب الفقمات البحرية وأدمغتها والكُلى كذلك لم تعانِ مرض الإسقربوط، وعلى الرغم من تجربة عدد هائل من المستكشفين الذين اتخذوا تدابير احترازية بحمل مضادات الإسقربوط التي أدخلوها بكثرة عن طريق الأطعمة الطازجة قدر الإمكان في نظامهم الغذائي، فإن قائد الأسطول البحري البريطاني روبرت فالكون سكوت أصرَّ على اعتقاده بأنَّ مرض الإسقربوط سببه اللحوم الفاسدة. في مقابل ذلك، تعامل المستكشف النرويجيّ رولد أموندسين مع خطر الإصابة بالإسقربوط على محمل الجد واعتمد النظام الغذائي في أثناء رحلته الناجحة إلى القطب الجنوبي

على الفقمات الطازجة ولحوم الكلاب. أتم رحلة عودته إلى القطب في عام 1911، وهي تبلغ ألف وأربعمائة ميل تقريبًا، من دون الإصابة بمرضٍ أو التعرض لحادث. أمَّا رجال سكوت فلم يحالفهم الحظ إلى هذه الدرجة. فرحلة عودتهم، بعد الوصول إلى القطب الشمالي في عام 1912، تباطأت بسبب ما يُعرف الآن بأسوأ جوٍّ في القطب الجنوبي منذ سنوات. رُبما أعاقت أعراض مرض الإسقربوط، التي تظهر بعد أشهر عدة من اتباع نظام غذائيّ خالٍ من الأطعمة الطازجة وفيتامين ج، جهودهم إلى حد كبير. وعلى بعد أحد عشر ميلًا فقط من مستودع الطَّعام والوقود، وجدوا أنفسهم غارقين في الإنهاك إلى درجة عدم قدرتهم على الاستمرار. أمَّا القائد سكوت ورفاقه، فبضعة ملليجرامات من حمض الأسكوربيك كانت لتغير عالمهم.

لو أنَّ قيمة حمض الأسكوربيك عُرفت باكرًا، لربما صار عالم اليوم مختلفًا اختلافًا كبيرًا. مع وجود طاقم صحي، لربما لم يكلف ماجلان نفسه عناء التوقف في الفلبين. لربما استطاع الاستمرار في احتلال سوق القرنفل في جزر التوابل انتصارًا لإسبانيا، ولعاد مبحرًا بانتصارٍ إلى أعلى النهر إلى إشبيلية، وحاز مرتبة شرفية لقيامه بأول رحلة حول العالم. لربما ساعد احتكار إسبانيا لأسواق القرنفل وجوز الطيب في إحباط إنشاء شركة الهند الشرقية الهولندية، وغيرت شكل إندونيسيا حاليًا. لو أنَّ البرتغاليين، وهم المستكشفون الأوربيون الأوائل الذين غامروا بقطع هذه المسافات الطويلة، فهموا سر حمض الأسكوربيك، لربما استطاعوا اكتشاف المحيط الهادئ قبل قرونٍ من رحلة جيمس كوك. ولربما صارت البرتغالية اللغة المتحدث بها في فيجي وهاواي،

اللتين لرُبما انضمتا إلى البرازيل كمستعمرتين في الإمبراطورية البرتغالية البعيدة. ربما الملاح الهولندي العظيم أبيل جانزون تاسمان، بمعرفته بكيفية الوقاية من مرض الإسقربوط خلال رحلاته في عامي 1642 و1644، لهبط على الأراضي المعروفة باسم نيو هولاند (أستراليا) وستاتن لاند (نيوزيلندا) وطالب رسميًّا بالملكية عليها.. البريطانيون، الذين جاءوا لاحقًا إلى جنوب المحيط الهادئ، لترك لهم إمبراطورية أصغر بكثير ونفوذ أقل بكثير في العالم، حتى يومنا هذا. تقودنا مثل هذه التكهنات إلى استنتاج أن حمض الأسكوربيك يستحق مكانًا بارزًا في تاريخ العالم وجغرافيته.

الفصل الثالث

الجلوكوز

في عبارة لأنشودة رياض الأطفال «السُكر والتوابل وكل شيء حلو» يُجمع بين السُكر والتوابل، كما هو المطبخ الكلاسيكيّ الذي يُزاوج بين هذه الأشياء التي نقدرها، مثل فطيرة التفاح وكعك الزنجبيل. كما التوابل، كان السُّكر من الرفاهيات التي يقدر عليها الأثرياء فقط، استُخدم مُنكِّهًا في أنواع الصلصة لأطباق اللحوم والسمك التي نصنفها على أنَّها من الأطعمة المالحة أكثر من كونها أطعمة حلوة. وكذلك مثل جزيئات التوابل، أثر جزيء السُّكر في مصير الدول والقارات لأنَّه وجَّه الضوء إلى نشوب الثورة الصناعيّة، مما أدى إلى تغيير حركة التجارة والثَّقافات حول العالم.

الجلوكوز مكوِّن أساسي للسكروز، المادة التي نعنيها عندما نُشير إلى السُّكر. تنوعت أسماء السُكر وفقًا لمصدره، فيوجد سكر القصب، وسكر البنجر، وسكر الذرة. كما أن له أشكال مختلفة: سكر بني، وسكر أبيض، وسكر التوت، وسكر ناعم، وسكر خام، وسُكر ديميرارا. حجم جزيء الجلوكوز، الموجود في كل أشكال السكر وأنواعه، صغير إلى حدٍّ ما. لديه ست ذرات كربون، وست ذرات أكسجين، واثنتا عشرة ذرة من الهيدروجين، مجتمعة معًا فتصبح عدد الذرات مساويًا لعدد الذرات الموجود في الجزيئات المسئولة

عن المذاق في القرنفل وجوز الطيب. لكن كما هو الحال في جزيئات التوابل هذه، فالترتيب المكاني للذرات في جزيء الجلوكوز (وأنواع السكر الأخرى) هو ما ينتج المذاق، المذاق الحلو.

يُستخرج السُّكر من نباتات عدة؛ في المناطق الاستوائية يُحصل عليه عادة من قصب السكر وفي المناطق المعتدلة من بنجر السكر. يُذكر قصب السُّكر (*سكروم أوفيسيناروم*[1]) في مواضع مختلفة على أنَّه نشأ في جنوب المحيط الهادئ أو جنوب الهند. انتشرت زراعة قصب السكر في أنحاء آسيا وحتى الشرق الأوسط، وفي النهاية وصلت إلى شمال إفريقيا وإسبانيا. وصل السُّكر البلوري المستخرج من قصب السكر إلى أوروبا مع العودة الأولى للحملات الصليبية في القرن الثالث عشر. خلال القرون الثلاثة التالية ظل بضاعة مستوردة، عُومل إلى حد كبير مثلما عوملت التوابل: انتعشت مركزية تجارة التوابل في مدينة البندقية جنبًا إلى جنب مع حركة تجارة التوابل المزدهرة. استُخدم السُّكر في الطب لإخفاء الطعم المثير للغثيان الناتج من المكونات الأخرى، فيصير السُّكر ملازمًا أساسيًا للعقاقير، واستعمل بصفته دواءً في حد ذاته.

بحلول القرن الخامس عشر توافر السُّكر بسهولة أكبر في أوروبا، لكنه ما زال باهظ الثمن. تزامنت الزيادة في الطلب على السكر وانخفاض الأسعار مع انخفاض في إمدادات العسل، الذي كان في السابق عامل التحلية في أوروبا ومعظم أنحاء العالم. وبحلول القرن السادس عشر، سرعان ما أصبح السُكر هو المُحلي المفضل

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي Saccharum officinarum .

لدى الجماهير. واتسعت رقعة انتشاره أكثر مع اكتشافات القرنين السابع عشر والثامن عشر عن حفظ الفاكهة بالسكر وصنع المربيات وحلوى الجيلي ومربى البرتقال. في إنجلترا عام 1700، قُدِّرَ نصيب الفرد من استهلاك السكر السنوي بحوالي أربعة أرطال. وبحلول عام 1780، ارتفع هذا المبلغ إلى اثني عشر رطلًا، وفي تسعينيات القرن الثامن عشر إلى ستة عشر رطلًا، على الأرجح استُهلك كثير منه في إعداد المشروبات الشائعة حديثًا مثل الشاي والقهوة والشوكولاتة. كما استخدم السكر أيضًا في الحلويات: المكسرات والبذور المغطاة بالشراب الحلو، وحَلْوَى المَرْزَبَانِيَّة، والكعك، والحلويات. أي أصبح غذاءً أساسيًا، وضرورة وليس ترفًا، واستمر زيادة الاستهلاك خلال القرن العشرين.

في الفترة بين عامي 1900 و1964، زاد إنتاج السكر العالمي بنسبة 700 في المئة، ووصل نصيب الفرد من الاستهلاك السنوي في الكثير من البلدان المتقدمة إلى مئة رطلٍ. وقد انخفض هذا الرقم إلى حد ما في السنوات الأخيرة مع تزايد استخدام المُحليات الصناعية وانتشار المخاوف بشأن الوجبات الغذائية ذات السعرات الحرارية العالية.

العبوديّة وزراعة السُّكر

لولا الطلب على السكر، لصار عالمنا اليوم مختلفًا كثيرًا على الأرجح. لأنَّ السكر هو الذي عزز تجارة العبيد، وجلب الملايين من الأفارقة السود إلى العالم الجديد، وكذلك له الفضل في الربح العائد من تجارة السكر الذي ساعد بحلول بداية القرن الثامن عشر في تحفيز

النمو الاقتصادي في أوروبا. جلب المستكشفون الأوائل للعالم الجديد تقارير عن الأراضي الاستوائية التي كانت مثالية لزراعة السكر. ولم يستغرق الأمر وقتًا طويلًا قبل أن يشرع الأوروبيون، المتحمسون للتغلب على احتكار الشرق الأوسط للسكر، في زراعة السكر في البرازيل ثم في جزر الهند الغربية. تتطلب زراعة قصب السكر عمالة كثيفة، والمصدران المحتملان للعمالة -أي السكان الأصليون في العالم الجديد (الذين أهلكتهم أمراض ظهرت حديثًا مثل الجدري والحصبة والملاريا هلاكًا بينًا) والخدم المستأجرون من أوروبا- لم يتمكنا من تلبية ولو جزء صغير من القوى العاملة المطلوبة. حينها تطلع مستعمرو العالم الجديد نحو إفريقيا.

حتى هذا الوقت، اقتصرت تجارة الرقيق من غرب إفريقيا بصورة رئيسة على الأسواق المحلية في البرتغال وإسبانيا، وهي نتاج لتجارة العبيد العابرة للصحراء الكبرى للشعب المغاربي حول البحر الأبيض المتوسط. لكن الحاجة إلى العمال في العالم الجديد زادت بشكل كبير مما كان حتى تلك اللحظة مجرد ممارسة بسيطة. أما احتمال جني ثروة كبيرة من زراعة السُّكر فكان كافيًا لإنجلترا، وفرنسا، وهولندا، وبروسيا، والدنمارك، والسويد (وفي نهاية المطاف البرازيل والولايات المتحدة) لتصبح جزءًا من نظام ضخم لنقل الملايين من الأفارقة من ديارهم. لم يكن السكر السلعة الوحيدة التي تعتمد على عمالة العبيد، لكن لعله السلعة الرئيسة. وفقًا لبعض التقديرات، حوالي ثلثي العبيد الأفارقة في العالم الجديد عملوا في مزارع السكر.

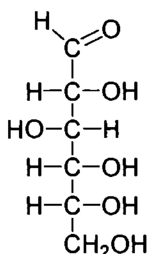
شُحِنَ أول إنتاج سكر يزرعه العبيد من جزر الهند الغربية إلى أوروبا في عام 1515، بعد اثنين وعشرين عامًا فقط من إدخال كريستوفر كولومبوس، في رحلته الثانية، قصب السكر إلى جزيرة هيسبانيولا. بحلول منتصف القرن السادس عشر، كانت المستوطنات الإسبانية والبرتغالية في البرازيل والمكسيك وعدد كبير من جزر الكاريبي تنتج السكر. بلغ عدد شحنات العبيد السنوية من إفريقيا إلى هذه المزارع حوالي عشرة آلاف فرد. ثم في القرن السابع عشر عملت المستعمرات الإنجليزية والفرنسية والهولندية في جزر الهند الغربية على زراعة قصب السكر. أسهم الطلب المتزايد زيادة هائلة على السكر، والتكنولوجيا المتنامية لمعالجة السكر، وتطوير مشروب كحولي جديد، الرُّم، وهو من المنتجات الثانوية لتكرير السكر، في زيادة هائلة في عدد الأشخاص الذين يجري إرسالهم من إفريقيا للعمل في حقول قصب السكر.

إنه لأمرٌ مستحيل أن تُحدد الأعداد الدقيقة للعبيد الذين حملوا على متون السفن الشراعية قبالة الساحل الغربي لإفريقيا ثم بيعوا لاحقًا في العالم الجديد. السجلات غير كاملة وربما مزورة، مما يعكس محاولات التحايل على القوانين التي حاولت في وقت متأخر تحسين الظروف على متن سفن النقل هذه من خلال تنظيم عدد العبيد الذين يمكن حملهم عليها. في أواخر عشرينيات القرن التاسع عشر، تكدس أكثر من خمسمائة إنسان على متن سفن العبيد البرازيلية، في مساحة تقل عن تسعمائة قدم مربع وارتفاعها ثلاثة أقدام. يقدر بعض المؤرخين أن ما يزيد عن خمسين مليون إفريقي قد شُحنوا إلى الأمريكتين على مدى

ثلاثة قرون ونصف من تجارة الرقيق. لا يشمل هذا الرقم أولئك الذين قُتلوا في أثناء غارات العبودية، أو أولئك الذين ماتوا في أثناء الرحلة من داخل القارة إلى السواحل الإفريقية، أو أولئك الذين لم ينجوا من أهوال الرحلة البحرية التي أصبحت معروفة باسم الممر الأوسط.

يشير الممر الأوسط إلى الجانب الثاني من التجارة ثلاثية الأطراف المعروف باسم الدائرة الكبرى. المحطة الأولى في مثلث التجارة هي الرحلة من أوروبا إلى ساحل إفريقيا، وبخاصة الساحل الغربي لغينيا، حيث جلبت السلع المصنعة لمقايضتها بالعبيد. أمَّا المحطة الثالثة فهي العبور من العالم الجديد إلى أوروبا. حينها تُستبدل بالحمولة البشرية على سفن العبيد في تلك المرحلة المواد الخام من المناجم وإنتاج المزارع، بشكل عام، الرُّم والقطن والتبغ. كل جزء من هذا المثلث مربحٌ إلى حد كبير، وبخاصة لبريطانيا: فبحلول نهاية القرن الثامن عشر كانت قيمة الدخل البريطاني المستمدة من جزر الهند الغربية أكبر إلى حدٍ كبير من قيمة الدخل من التجارة مع بقية العالم. وفي الواقع، فإن السكر ومنتجاته حينها مصدر للزيادة الهائلة في رأس المال والتوسع الاقتصادي السريع الضروري لتغذية الثورة الصناعية البريطانية ثم الفرنسية في أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر.

الجلوكوز هو أكثر السكريات البسيطة شيوعًا، حتى أنه يُسمى أحيانًا *مونو سكاريدز*[1]، مشتقة من الكلمة اللاتينية *ساكروم*[2] التي تعني السكر. أمَّا البادئة *مونو* فتشير إلى وحدة واحدة، على عكس السكريات الثنائية (*داي سكاريدز*) المكونة من وحدتين أو السكريات المتعددة الوحدات (بولي سكاريدز). يمكن رسم الصيغة البنائية للجلوكوز كسلسلة مستقيمة:



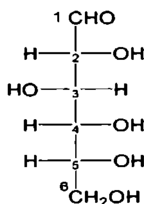
جلوكوز

أو بإجراء تعديل طفيف لهذه السلسلة، حيث يمثل كل تقاطع للخطوط الرأسية والأفقية ذرة الكربون. توجد مجموعة من الاتفاقيات والاصطلاحات لا تعنينا كثيرًا، تعمل على ترقيم ذرات الكربون، مع رسم ذرة الكربون رقم 1 دائمًا في الأعلى. تُعرف هذه الصيغة بصيغة إسقاط فيشر، نسبة إلى إميل فيشر، الكيميائي الألماني الذي حدد في عام 1891 الصيغة البنائية الفعلية للجلوكوز وعدد

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي monosaccharides.

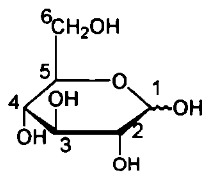
(2) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي monosaccharides.

من السكريات الأخرى ذات الصلة. على الرغم من أن الأدوات والتقنيات العلمية المتاحة لفيشر في ذلك الوقت كانت بدائية إلى حد كبير، فإن نتائجه لا تزال مثمرة حتى اليوم بوصفها واحدة من الأمثلة الأكثر أناقة للمنطق الكيميائي. أمَّا هو فحصل على جائزة نوبل في الكيمياء في عام 1902 لأبحاثه في مجال السكريات.

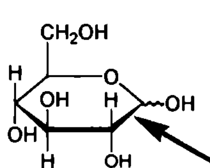


صيغة إسقاط فيشر، توضح أرقام السلسلة الكربونية

على الرغم من أنه لا يزال بإمكاننا رسم السكريات مثل الجلوكوز في شكل السلسلة المستقيمة، فإننا نعلم الآن أنها توجد عادة في شكل مختلف من الصيغ البنائية الدائرية (الحلقية). تُعرف رسومات هذه الصيغ البنائية الدائرية بصيغ هاورث، نسبة إلى نورمان هاورث، الكيميائي البريطاني الذي أقرَّت لجنة جائزة نوبل التي حصل عليها في عام 1937 بعمله على فيتامين ج وعلى صيغ الكربوهيدرات البنائية (انظر الفصل 2). تتكون حلقة الجلوكوز المكونة من ست ذرات من خمس ذرات كربون وذرة أكسجين واحدة. تشير صيغة هاورث، الموضحة أدناه، بالأرقام إلى كيفية توافق كل ذرة كربون مع ذرة الكربون الموضحة في صيغة إسقاط فيشر السابقة.



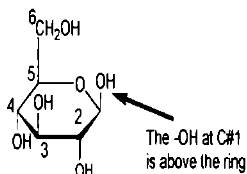
صيغة بنائية دائرية لحلقة مكونة من ست ذرات



صيغة هاورث للجلوكوز لا تظهر فيها جميع ذرات الهيدروجين لكن تظهر ذرات الكربون مُرقَّمة.

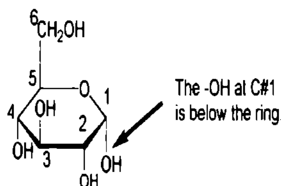
صيغة هاورث للجلوكوز، تظهر فيها ذرات الهيدروجين

في حقيقة الأمر توجد نسختان من الجلوكوز في صورة دائرية، تختلف كل نسخة ما إذا كان مجموعة الهيدروكسيل (OH) عند ذرة الكربون رقم 1 في أعلى الحلقة أم أسفلها. قد يبدو هذا تمييزًا طفيفًا لا يُذكر، لكن من الجدير بالملاحظة أن له تبعات غاية في الأهمية في صيغ الجزيئات الأكثر تعقيدًا التي تحتوي على وحدات الجلوكوز، مثل الكربوهيدرات المعقدة. إذا كانت مجموعة الهيدروكسيل (OH) عند ذرة الكربون رقم 1 أسفل الحلقة فإنه يُعرف باسم الجلوكوز ألفا (α). أما إذا كان فوق الحلقة فهو جلوكوز بيتا (β).



ترتبط مجموعة الهيدروكسيل بذرة الكربون رقم واحد أعلى الحلقة

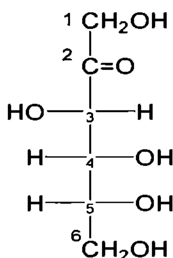
جلوكوز بيتا (β).



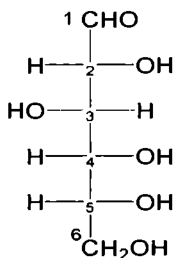
ترتبط مجموعة الهيدروكسيل بذرة الكربون رقم واحد أسفل الحلقة

الجلوكوز ألفا (α)

عندما نستخدم كلمة *السكر*، فإننا نشير إلى السكروز. السكروز هو سكر ثنائي السكريد، سُمِّي بهذا الاسم لأنه يتكون من وحدتين بسيطتين من السكريات الأحادية: إحداهما وحدة الجلوكوز والأخرى وحدة الفركتوز. الفركتوز، أو سكر الفاكهة، له صيغة الجلوكوز نفسها؛ $C_6H_{12}O6$، وكذلك عدد الذرات ونوعها نفسه (ست ذرات كربون، واثنا عشر ذرة هيدروجين، وست ذرات أكسجين) الموجودة في الجلوكوز. لكن الفركتوز له بنية مختلفة. تترتب ذراته ترتيبًا مختلفًا. بموجب التعريف الكيميائي لهذا، فإن الفركتوز والجلوكوز هما من الأيزومرات. الأيزومرات هي مركبات لها الصيغة الكيميائية ذاتها (العدد نفسه من كل ذرة) ولكن ترتيبات هذه الذرات مختلفة في كل مركب.



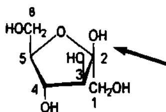
الفركتوز



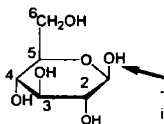
الجلوكوز

صيغتان إسقاط فيشر للأيزومرين الجلوكوز والفركتوز، تُظهران اختلافًا في ترتيب ذرات الهيدروجين والأكسجين عند ذرة الكربون رقم واحد وذرة الكربون رقم 2. لا ترتبط ذرة الهيدروجين بذرة الكربون رقم 2 في الفركتوز.

يوجد الفركتوز بشكل أساسي في صيغة دائرية، لكنه يبدو مختلفًا اختلافًا واضحًا إلى حد ما عن الجلوكوز نظرًا إلى أنَّ الفركتوز يشكل حلقة خماسية، كما هو موضح أدناه في صيغة هاورث، بدلاً من حلقة الجلوكوز السداسية. كما هو الحال مع الجلوكوز، يوجد نوعان من الفركتوز ألفا وبيتا، ولكن نظرًا إلى أنَّ ذرة الكربون رقم 2 هي التي ترتبط بالهيدروكسيل في الفركتوز، فإننا أوضحنا مكان الهيدروكسيل سواء أعلى الحلقة أو أسفلها حول هذه الذَّرة لتحديد فركتوز ألفا إن كانت متصلة أسفل الحلقة، من فركتوز بيتا إذا كانت متصلة أعلى الحلقة.

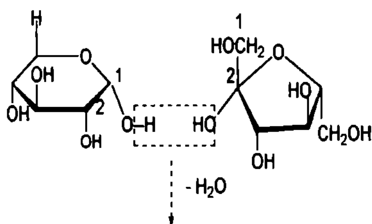


مجموعة الهيدروكسيل المتصلة بذرة الكربون رقم 2 أعلى الحلقة. صيغة هاورث لفركتوز بيتا.

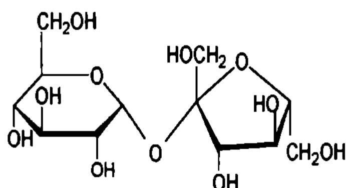


مجموعة الهيدروكسيل المتصلة بذرة الكربون رقم 1 أسفل الحلقة. صيغة هاورث لفركتوز ألفا.

يحتوي السكروز على كميات متساوية من الجلوكوز والفركتوز ولكن ليس خليطًا من جزيئين مختلفين. بل في جزيء السكروز، يرتبط جزيء جلوكوز واحد وفركتوز واحد معًا من خلال إزالة جزيء الماء (H_2O) بين مجموعة الهيدروكسيل (OH) عند ذرة الكربون رقم 1 في جلوكوز ألفا ومجموعة الهيدروكسيل (OH) عند ذرة الكربون رقم 2 في فركتوز بيتا.



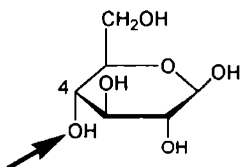
إزالة جزيء H2O بين الجلوكوز والفركتوز يشكل السكروز. أُدير جزيء الفركتوز بمقدار 180 درجة في هذه المخططات.

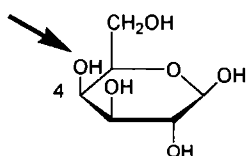


الصيغة البنائية لجزيء السكروز

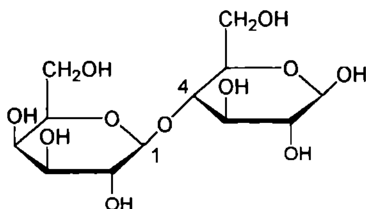
يوجد الفركتوز بكميات كبيرة في الفاكهة ولكن أيضًا يوجد في العسل، الذي يتكون من حوالي 38 بالمائة فركتوز و31 بالمائة جلوكوز، مع 10 بالمائة من السكريات الأخرى بما في ذلك السكروز. أمّا النسبة الباقية فهي الماء بصورة أساسية. مذاق الفركتوز حُلوٌ بصورة أكبر من السكروز أو الجلوكوز، لذلك بسبب مكوِّن الفركتوز، فمذاق العسل أحلى من السكر. يتكون شراب القيقب من حوالي 62٪ سكروز مع 1٪ فقط من كل من الفركتوز والجلوكوز.

اللاكتوز، ويسمى أيضًا سكر الحليب، هو ثنائي السكريد يتكون من وحدة واحدة من الجلوكوز ووحدة واحدة من سكر أحادي آخر، وهو الجالاكتوز. الجالاكتوز هو أيزومر الجلوكوز. والفرق الوحيد هو أنه في الجالاكتوز، تكون مجموعة الهيدروكسيل (OH) عند ذرة الكربون رقم 4 أعلى الحلقة وليس أسفل الحلقة كما هو الحال في الجلوكوز.





جالاكتوز بيتا مع سهم يظهر مجموعة الهيدروكسيل عند ذرة الكربون رقم 4 فوق الحلقة مقارنة بـجلوكوز بيتا حيث توجد مجموعة الهيدروكسيل المتصلة بذرة الكربون رقم 4 أسفل الحلقة. يتحد هذان الجزيئان لتكوين اللاكتوز.



الصيغة البنائية لجزيء اللاكتوز

يتصل جزيء الجالاكتوز (على اليسار) من خلال ذرة الكربون رقم واحد بذرة الكربون رقم 4 في جزيء الجلوكوز

مرة أخرى، قد يبدو وجود مجموعة الهيدروكسيل (OH) أعلى الحلقة أو أسفلها مُجرد اختلاف طفيف لا يُذكر، ولكن لدى الأشخاص الذين يعانون عدم تحمل اللاكتوز، فهو ليس كذلك. لهضم اللاكتوز وغيره من السكريات الثنائية أو السكريات الكبيرة، نحتاج إلى إنزيمات محددة تعمل في البداية على تفكيك هذه الجزيئات المعقدة إلى سكريات أحادية أبسط. في حالة اللاكتوز، يسمى الإنزيم *اللاكتاز* وهو موجود بكميات صغيرة فقط لدى بعض البالغين. (ينتج الأطفال عمومًا كميات أكبر من *اللاكتاز* مقارنة بالبالغين.) وعدم كفاية إنزيم اللاكتاز يجعل هضم الحليب ومنتجات الألبان صعبًا ويسبب الأعراض المرتبطة بعدم تحمل اللاكتوز: انتفاخ البطن، والتشنجات، والإسهال. عدم تحمل اللاكتوز هو سمة موروثة، ويمكن علاجها بسهولة باستخدام مستحضرات إنزيم اللاكتاز المتاحة من دون وصفة طبية. يفتقد البالغون والأطفال (ولكن ليس الرُّضع) من مجموعات عرقية معينة، مثل بعض القبائل الإفريقية، إنزيم اللاكتاز تمامًا. أمَّا هؤلاء الأشخاص، فالحليب المجفف ومنتجات الألبان الأخرى، الموجودة غالبًا في برامج المساعدات الغذائية، غير قابلة للهضم بل ضارة كذلك.

يقتصر استخدام دماغ الثدييات الصحية في حالتها الطبيعية على الجلوكوز فقط على أنه مصدر الوقود. تعتمد خلايا الدماغ على هذا الإمداد من مجرى الدم دقيقة بدقيقة، حيث لا يوجد أي احتياطي للوقود أو مخزن له في الدماغ. فإذا انخفض مستوى الجلوكوز في الدم إلى 50 بالمائة من المستوى الطبيعي، تظهر بعض أعراض خلل وظائف

المخ. عند وصول الجلوكوز إلى نسبة 25٪ من المستوى الطبيعي، ربما بسبب جرعة زائدة من الأنسولين -الهرمون الذي يحافظ على مستوى الجلوكوز في الدم- قد تحدث غيبوبة.

مذاق حلو

ما يجعل كل هذه السكريات لها جاذبية عالية هو أن مذاقها حلو، والبشر يحبون الحلاوة. كما أنَّ الحلاوة واحدة من الأذواق الأربعة الرئيسة. أمَّا الثلاثة الأخرى فهي الحموضة والمرارة والملوحة. عُدَّ فيما سبق أن تحقيق القدرة على التمييز بين هذه الأذواق خطوةً تطورية مهمة. ينطوي معنى عام في مفهوم الحلاوة وهو: «صالحٌ للأكل». يشير الطعم الحلو إلى أن الفاكهة ناضجة، في حين يخبرنا المذاق الحامض أنه كثير من الأحماض لا تزال موجودة في الطَّعام، أمَّا الفاكهة غير الناضجة فقد تسبب الفاكهة آلامًا في المعدة. غالبًا ما يشير الطعم المر عند تذوق النباتات إلى وجود نوع من المركب يعرف باسم القلويدات. والقلويدات غالبًا سامة، وأحيانًا سُميتها توجد بكميات صغيرة جدًّا فقط، لذا فإن القدرة على اكتشاف آثار القلويدات مزية مميزة. ناهيك بأنَّه زُعم من قبل أنَّ السبب وراء انقراض الديناصورات ربما يعود إلى عدم قدرتها على اكتشاف القلويدات السامة الموجودة في بعض النباتات مغطاة البذور التي تطورت في نهاية العصر الطباشيري[1]، في الوقت الذي اختفت فيه

(1) ملحوظة المترجمة: يُعرف أيضًا بالعصر الكريتاسي.

الديناصورات تقريبًا، على الرغم من أن هذه ليست نظرية مقبولة عامةً عن انقراض الديناصورات.

كما يبدو، البشر ليس لديهم ميل فطري للمرارة. في حقيقة الأمر، لعل تفضيلهم في المذاق نقيض ذلك تمامًا. تستدعي المرارة استجابة منها إفراز المزيد من اللُّعاب. ورد الفعل هذا مفيد تجاه دخول شيء سام في الفم، لأنه يسمح للإنسان بأن يبصق هذا الشيء خارج الفم بالكامل قدر الإمكان. لكنَّ كثيرًا من النَّاس، على الرغم من ذلك، يتعلمون كيف يُقدرون، وإن لم يعجبوا به، المذاق المُر. فالكافيين الموجود في الشاي والقهوة والكينين الموجود في الماء التونيك[1]، على الرغم من أن الكثير منا لا يزال يعتمد في تناول المشروبات على إضافة السُّكر. يشير مصطلح *حلو ومر*[2]، الذي يشير إشارة ضمنية إلى المتعة الممزوجة بالحزن، إلى ازدواجيتنا تجاه تعاملنا مع الأذواق المصاحبة للمرارة.

تقع حاستنا للتذوق في براعم التذوق، وبراعم التذوق هي مجموعات متخصصة من الخلايا موقعها الرئيس على اللسان. لا تستشعر جميع أجزاء اللسان التذوق بالطريقة نفسها أو بالدرجة نفسها. الطرف الأمامي من اللسان هو الأكثر حساسية للحلاوة، في حين أن الحموضة تظهر بقوة على جانبي اللسان في اتجاه الخلف. هذا أمرٌ يُمكنك اختباره بسهولةٍ عن طريق وضع محلول السكر على

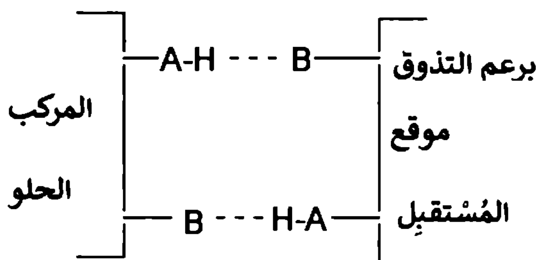
---

(1) ملحوظة المترجمة: ماء التونيك هو مشروب غازي مُكربن، يحتوي على مادة الكينين، وهي مركب معزول يُستخرج من لحاء أشجار الكينا، يُستعمل في العصائر، وقيل إنه استخدم سابقًا للوقاية من مرض الملاريا. وسيأتي ذكره في فصل لاحق في هذا الكتاب.

(2) ملحوظة المترجمة: المصطلح المستخدم Bittersweet.

جانب اللسان ثم على طرف اللسان. من المؤكد أن طرف اللسان سوف سيستشعر الإحساس بالمذاق الحُلو بقوّةٍ أكبر. إذا جربت الأمر نفسه مع عصير الليمون، فإن النتيجة ستبدو أكثر وضوحًا. لن يبدو عصير الليمون على طرف اللسان حامضًا حموضة كبيرة، لكن ضع شريحة ليمون طازجة مقطعة على جانب اللسان، وسوف تكتشف موضع منطقة الاستقبال الأكبر للحموضة. يمكنك الاستمرار في هذه التجربة: فاكتشاف مذاق المرارة بصورةٍ قويّة أكبر في منتصف اللسان ولكن من الخلف من طرفه، أمَّا الإحساس بالملوحة بصورةٍ أكبر فتظهر على كل جانب من طرف اللسان فقط.

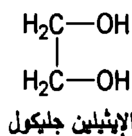
خضع مذاق الحلاوة إلى الدراسة والفحص بصورةٍ أكبر من أي مذاقٍ آخر، لأنه بما لا يدع مجالًا للشك، كما هو الحال في أيام تجارة الرقيق، لا يزال ذو أهمية كبيرةٍ. العلاقة بين الصيغة البنائية والحلاوة علاقة معقدة. يشير أحد النماذج المُبسَّطة، المعروف باسم نموذج A–HB، إلى أن الطعم الحلو يعتمد على ترتيب مجموعة الذرات داخل الجزيء. لهذه الذرات (A وB في الرسم البياني) شكل هندسي معين، مما يسمح للذرة B بالانجذاب إلى ذرة الهيدروجين المرتبطة بالذرة A. وينتج عن هذا ارتباط الجزيء الحلو ارتباطًا قصير المدى بجزيء البروتين في مستقبل التذوق مما يؤدي إلى توليد إشارة (تنتقل عبر الأعصاب) تخبر الدماغ: «إن هذا حلو.» عادةً يشير الرمزان A وB إلى ذرات أكسجين أو نيتروجين، لكن رُبما تكون إحداهما أيضًا ذرة كبريت.



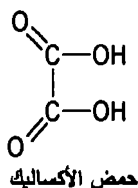
نموذج A-H, B لمقياس الحلاوة

لا تقتصر المركبات الحلوة على مركبات السكر فقط، بل يوجد الكثير منها، وليست جميعها صالحة للأكل. فالإيثيلين جليكول، على سبيل المثال، المكون الرئيس للمذيب الذي يُستخدم في مبردات السَّيارات. قابلية ذوبان جزيء الإيثيلين جليكول ومرونته، وكذلك المسافة بين ذرات الأكسجين فيه (على غرار المسافة بين ذرات الأكسجين في السُّكريات)، هي أسباب طعمه الحُلو. لكنه سام جدًّا. فربما جرعة صغيرة تصل إلى ملعقة واحدة تُصبح قاتلة للإنسان أو الحيوانات الأليفة التي تقتنيها العائلات.

لكن ما يُثير الانتباه أنَّ هذا ليس الإيثيلين جليكول، ولكن ما يحوله الجسم إليه هو العامل السام. تُنتج أكسدة الإيثيلين جليكول من خلال الإنزيمات في الجسم حمض الأكساليك.



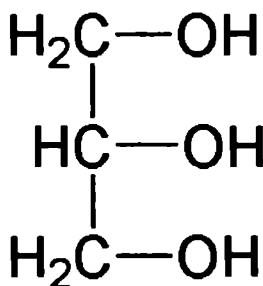
عملية الأكسدة في الجسم ⟶



يُنتَج حمض الأكساليك على نحوٍ طبيعي في نباتات عدّة، بما في ذلك بعض النباتات التي نأكلها، مثل عشبة الراوند والسبانخ. نستهلك عادة هذه الأطعمة بكميات معتدلة، ويمكن للكلى لدينا التعامل مع آثار حمض الأكساليك الناتجة عن هذه المصادر. ولكن إذا ابتُلع الإيثيلين جليكول، فإن الظهور المفاجئ لكمية كبيرة من حمض الأكساليك يمكن أن يسبب تلف الكلى والوفاة. أمَّا تناول سلطة السبانخ وفطيرة الراوند في الوجبة ذاتها فلن يؤذيك. وعلى الأرجح يصعب تناول كمية كبيرة من السبانخ والرواند إلى حدٍّ أن تُلحق أي ضرر، إلا إذا كنت عرضة للإصابة بحصوات الكُلى، وهي تتراكم بمرور السنين. تتكون حصوات الكلى بصورة رئيسة من أوكسالات الكالسيوم[1] وهي ملح الكالسيوم غير القابل للذوبان لحمض الأكساليك. غالبًا ما يُنصح الأشخاص المعرضون للإصابة بحصوات الكلى بتجنب الأطعمة التي تحتوي على نسبة عالية من الأوكسالات. أمَّا البشر الآخرون، فإن الاعتدال هو النصيحة الذهبية.

أمَّا المركب الذي له بنية مشابهة جدًّا للإيثيلين جليكول وطعمه حلو كذلك فهو مركب الجليسرول، ولكن الجليسرول عند تناوله بكميات معتدلة آمنٌ للاستهلاك. يُستخدم بصفته مادة مضافة إلى

كثير من الأطعمة الجاهزة بسبب لزوجته وقابليته العالية للذوبان في الماء. واجه مصطلح *المضافات الغذائية* انتقادات سلبية في السنوات الأخيرة، مما يعني ضمنيًّا أن *المضافات الغذائية* هي في الأساس غير عضوية، وغير صحية، وغير طبيعية. من المؤكد أن الجليسرول عضوي وغير سام ويوجد على صورته الطبيعة في منتجات مثل النبيذ.



الجليسرول

عندما تُدير وتلف كأسًا من النبيذ، فإن «السيقان[1]» التي تتشكل على جوانب الزجاج ترجع إلى وجود الجلسرين الذي يزيد من اللزوجة والنعومة المميزة للنبيذ الجيد.

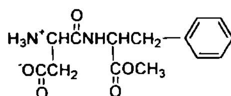
(1) ملحوظة المترجمة: تُشير كلمة السِّيقان إلى آثار النبيذ أو أي سائل لزج عند رفعه ثم تركه يسقط إلى القاع، تبقى بعض القطرات التي لم تسقط للقاع بسبب لزوجتها، فتشكل فيها يشبه السيقان.

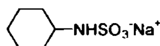
توجد مواد أخرى خالية من السُكر مذاقها حلو، وبعض هذه المركبات هي الأساس لصناعة المُحليات الصناعية التي تبلغ قيمتها مليار دولار. بالإضافة إلى وجود بنية كيميائية تحاكي بطريقة ما هندسة السُّكريات، مما يسمح لها بالتوافق مع مستقبلات الحلاوة والارتباط بها، يجب أن يكون المُحلي الاصطناعي قابلاً للذوبان في الماء وغير سام، وفي كثير من الأحيان، لا يُحوَّل في عملية التمثيل الغذائي في جسم الإنسان. مذاق هذه المواد عادة أكثر حلاوة بمئات المرّات من السُّكر.

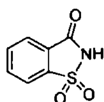
أمَّا أوَّل المحليات الصناعية التي صُنِّعت فهو السكرين. السكرين هو مسحوق ناعم. أولئك الذين يعملون في مجال تصنيعه يكتشفون في بعض الأحيان طعمًا حلوًا إذا مست أصابعهم عن طريق الخطأ أفواههم. مذاقه كثير الحلاوة إلى حدٍّ أن كمية ضئيلة منه كافية لإثارة الاستجابة للحلاوة. ويتضح أنَّ هذا ما قد وقع في عام 1879، عندما لاحظ طالب الكيمياء في جامعة جونز هوبكنز في بالتيمور حلاوة غير عادية في الخبز الذي كان يأكله. عاد إلى مقعده في المختبر ليتذوق بصورةٍ منهجية المركبات التي كان يستخدمها في تجاربه في ذلك اليوم -وهي ممارسة محفوفة بالأخطار ولكنها شائعة عند التعامل مع الجزيئات الجديدة في تلك الأيام- واكتشف أن السكرين شديد الحلاوة.

السكرين ليس له قيمة حرارية، ولم يستغرق الأمر وقتًا طويلًا (في عام 1885) حتى يُستغل هذا المزيج من الحلاوة وعدم وجود سعرات حرارية استغلالًا تجاريًّا. الغرض المقصود منه في الأصل أن

يصبح بديلًا للسكر في النظام الغذائي لمرضى السكري، وسرعان ما أصبح بديلًا مقبولًا للسكر لدى عامة السكان. أسهم القلق المُثار حول السُميَّة المحتملة بسببه ومشكلة الطعم المعدني الذي يتركه في الفم عند تناوله، في تطوير المحليات الصناعية الأخرى مثل صناعة السيكلامات والأسبارتام. كما ترون، فإن الصيغ البنائية لهذه العناصر جميعها مختلفة تمامًا وتختلف اختلافًا مطلقًا عن السكريات، ومع ذلك تحتوي جميعها على الذرات المناسبة، بالإضافة إلى الموقع الذري المحدد والهندسة والمرونة الضرورية للحلاوة.







الأسبارتام *سيكلامات الصوديوم* *السكرين*

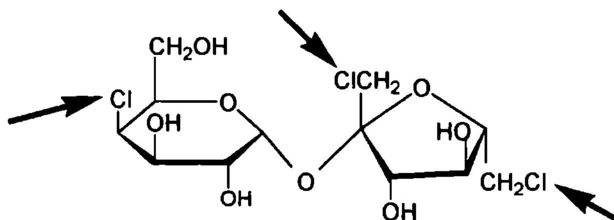
لا يوجد مُحلٍ صناعي خالٍ تمامًا من أوجه القصور. وبعضها يتحلل عند التسخين ولذلك يمكن استخدامه فقط في المشروبات الغازية أو الأطعمة الباردة؛ وبعضها غير قابلٍ للذوبان تحديدًا؛ وبعض آخر له طَعم جانبي يمكن اكتشافه إلى جانب حلاوته. يتكون الأسبارتام، على الرغم من أنه اصطناعي، من اثنين من الأحماض الأمينية الموجودة بصورة طبيعية. يُستقلب[1] في الجسم، ولكن نظرًا إلى أنه أكثر حلاوة بمائتي مرة من الجلوكوز، فإن الحاجة تستدعي

(1) ملحوظة المترجمة: عملية الاستقلاب هي تحويل الطعام والشراب وتفكيكهما في جسم الإنسان إلى وحدات بناء كيميائية يستخدمها الجسم في صنع مواد أخرى للنمو وغيره، أي لإنتاج الطاقة في الجسم.

فقط إلى استخدام كميّة أقل بكثير لإنتاج مستوى مقبول من الحلاوة. أولئك الذين يعانون الحالة المرضية الموروثة المعروفة باسم بِيلَة الفينيل كيتون (PKU)[1]، وهي عدم القدرة على استقلاب الحمض الأميني فينيل ألانين، وهو أحد منتجات تحلل الأسبارتام، يُطلب منهم تجنب هذا المُحلي الاصطناعي بالتحديد.

أمَّا المُحلّي الجديد الذي حصلت الموافقة عليه من إدارة الغذاء والدواء الأمريكية في عام 1998 يعالج مشكلة صنع الحلاوة الاصطناعية بطريقة مختلفة. يحتوي السكرالوز على بنية مشابهة تشابهًا كبيرًا لبنية السكروز باستثناء عاملين. يحل محل وحدة الجلوكوز، الموجودة على الجانب الأيسر من الشكل، الجالكتوزُ، وهي الوحدة نفسها الموجودة في اللاكتوز. تحل ثلاث ذرات كلور (Cl) محل ثلاث مجموعات الهيدروكسيل (OH): واحدة في وحدة الجالاكتوز والاثنتان الأخريان في وحدة الفركتوز اليمنى، كما هو محدد. ولا تؤثر ذرات الكلور الثلاث في حلاوة هذا السكر، لكنها تمنع الجسم من استقلابه. ومن ثم فإن السكرالوز هو سكر ليس له قيمة حرارية.

(1) ملحوظة المترجمة: هو اضطراب وراثي نادر يُسبب تراكم الحمض الأميني الفينيل ألانين في الجسم بسبب غياب الإنزيم الذي يُفكك هذا الحمض.



الصيغة البنائية للسكرالوز، توضح وجود ثلاث ذرات الكلور (Cl) (كما هو موضح بالأسهم) بعدما حلَّت محل مجموعات الهيدروكسيل (OH)

جارٍ البحث الآن عن المُحليات الطبيعية الخالية من السُّكر من مصادر نباتية تحتوي على «محليات قوية المفعول»، وهي مركبات يمكن لمذاق حلاوتها أن يفوق السكروز بمقدار ألف مرَّة. عرف، لما يصل إلى قرون كثيرة، السكان الأصليون النباتات ذات المذاق الحلو؛ عشبة أمريكا الجنوبية ***ستيفيا ريبوديانا***[1]؛ وجذور نبات عرق السوس ***الجليسيرازيك جلابرا***[2]؛ ونبات ***ليبيا دولسيز***[3]، نبات مكسيكي ضمن عائلة عشبة رعي الحمام[4]؛ والريزومات[5] من ***سيليجويا فيي***[6]، سرخس من جاوة الغربية، كل هذه أمثلة. أظهرت المركبات الحلوة المستخرجة من مصادر طبيعية إمكانية لاستخدامها تجاريًّا،

---

(1) ملحوظة المترجمة: اسم العشبة باللغة الإنجليزية Stevia rebaudiana.

(2) ملحوظة المترجمة: اسم النبات باللغة الإنجليزية Glycyrrhiza glabra.

(3) ملحوظة المترجمة: اسم النبات باللغة الإنجليزية Lippia dulcis.

(4) ملحوظة المترجمة: تُعرف أيضًا باسم اللويزة.

(5) ملحوظة المترجمة: الريزوم ساق أرضية متحورة تمتد تحت التربة أفقيًّا.

(6) ملحوظة المترجمة: اسم النبات باللغة الإنجليزية Selliguea feei.

لكن المشكلات مثل مشكلات التركيزات الصغيرة، والسُّمية، وانخفاض قابلية الذوبان في الماء، والطعم غير المقبول الذي تتركه في الفم، والثبات، والجودة المتغيرة، لا تزال بحاجة إلى التغلب عليها.

على الرغم من أن استخدام السكرين يعود إلى أكثر من مئة عام، فهو لم يكن المادة الأولى التي تُستخدم كمُحَلٍّ صناعي. يعود على الأرجح هذا التميز أن إلى خلات الرصاص، $Pb(C_2H3O2)2$، التي استُخدمت لتحلية النبيذ في أيام الإمبراطورية الرومانية. تعمل خلات الرصاص، المعروفة بسكر الرصاص، على تحلية النبيذ من دون التسبب في تخميره بدرجة كبيرة، وهي عملية كانت تحدث مع إضافة المحليات مثل العسل. ومن المعروف أن أملاح الرصاص حلوة المذاق، وكثير منها غير قابل للذوبان، ولكنها جميعها سامة. خلات الرصاص قابلة للذوبان قابلية عالية، ومن الواضح أن الرّومان لم يدركوا سُميتها. يجب أن يمنحنا هذا وقفة للتفكير، لو أننا نشتاق إلى الأيام الخوالي عندما كان الطعام والشراب غير ملوث بالمواد المضافة.

كما عمل الرومان على تخزين النبيذ والمشروبات الأخرى في حاويات من الرصاص وزوَّدوا منازلهم بالمياه من خلال أنابيب الرصاص. التسمم بالرصاص تراكمي. يؤثر في الجهاز العصبي والجهاز التناسلي بالإضافة إلى الأعضاء الأخرى. لا تزال الأعراض الأولية للتسمم بالرصاص غامضة ولكنها تشمل النوم المضطرب، وفقدان الشهية، والتهيج، والصداع، وآلامًا في المعدة، وفقر الدم. يزداد تلف الدماغ، مما يؤدي إلى عدم الاستقرار العقلي الإجمالي والشلل. أرجع بعض المؤرخين سقوط الإمبراطورية الرومانية

إلى التسمم بالرصاص، إذ ورد أنَّ كثيرًا من القادة الرومان، بما في ذلك الإمبراطور نيرون، ظهرت عليهم هذه الأعراض. فقط الطبقة الرومانية الأثرياء والأرستقراطية الحاكمة كانت تصل المياه إلى منازلهم بالأنابيب وتستخدم أوعية الرصاص لتخزين النبيذ. أمَّا الناس العاديون فيجلبون مياههم ويخزنون نبيذهم في حاويات أخرى. لو أنَّ التسمم بالرصاص قد أسهم إسهامًا فعليًّا في سقوط الإمبراطورية الرومانية، فذلك مثال آخر على مادة كيميائية غيرت مجرى التاريخ.

شكَّل السكر -الرغبة في حلاوته- تاريخ البشرية. الربح من سوق السكر الضخم الذي بدأ في أوروبا هو الذي حفز شحن العبيد الأفارقة إلى العالم الجديد. لولا السكر لتقلصت تجارة العبيد كثيرًا؛ لولا العبيد لكسدت تجارة السكر كسادًا كبيرًا. شنَّ السُّكر مسألة العبيد وزادها زيادة هائلة على نطاق واسع، ودعمته عائدات السكر. أي إن ثروات دول غرب إفريقيا -شعوبها- نُقلت إلى العالم الجديد لبناء الثروة للآخرين.

وحتى بعد إلغاء العبودية، ظلت الرغبة في تناول السكر تؤثر في حركة الإنسان حول العالم. في نهاية القرن التاسع عشر، ذهبت أعداد كبيرة من العمال الهنود المستأجرين إلى جزر فيجي للعمل في حقول قصب السكر. ونتيجة لذلك، تغير التركيب العرقي لهذه المجموعة من جزر المحيط الهادئ بشكل كامل، بحيث لم يعد السكان الأصليون للميلانيزيا يمثلون أغلبية. وبعد ثلاثة انقلابات في السنوات الأخيرة، لا تزال فيجي بلدا يعاني الاضطرابات السياسية والعرقية. كما أن

التركيبة العرقية لسكان الأراضي الاستوائية الأخرى تدين بالكثير للسكر. هاجر كثير من أسلاف أكبر مجموعة عرقية في هاواي حاليًا من اليابان للعمل في حقول قصب السكر في هاواي.

يستمر السكر في تشكيل المجتمع البشري. إنه سلعة تجارية مهمة؛ وتؤثر تقلبات الجو وتفشي الآفات في اقتصادات البلدان المنتجة للسكر وأسواق الأوراق المالية في جميع أنحاء العالم. كما أنَّ الزيادة في أسعار السكر لها تأثير مضاعف في جميع أنحاء صناعة المواد الغذائية. استعمل السكر بوصفه أداة سياسية. لمدة عقود من الزمن، دعم شراء الاتحاد السوفييتي للسكر الكوبي اقتصاد كوبا في عهد الرئيس فيدل كاسترو.

ينتشر السُّكر في الكثير مما نشربه والكثير مما نأكله. أطفالنا يفضلون الحلويات. أمَّا نحن فنميل إلى تقديم الأطعمة الحلوة عندما نريد الاستمتاع؛ تقديم الضيافة للضيوف لم يعد يعني كسرة رغيف خبز متواضع. ترتبط الحلوى والحلويات المحملة بالسكر بالعطلات والاحتفالات الكبرى في الثقافات حول العالم. ومستويات استهلاك جزيء الجلوكوز وأيزومراته، أعلى عدة مرات مما كانت عليه في الأجيال السابقة، وينعكس ذلك في صورة مشكلات صحية مثل السمنة ومرض السكري وتسوس الأسنان. في حياتنا اليومية، لا يزال السُكر يُشكل ما نحن عليه.

الفصل الرَابع

السِليُولوز

أدى إنتاج السكر إلى إباحة تجارة العبيد في الأمريكتين واستفحال هذه التّجارة، لكن ليس السكر وحده الذي ساعد على استمرارها لأكثر من ثلاثة قرون. لأنَّ المحاصيل الأخرى للسوق الأوروبية اعتمدت في زراعتها على العبودية. ومن هذه المحاصيل القطن. جرى تحويل القطن الخام الذي يُشحن إلى إنجلترا إلى سلع مصنعة رخيصة الثمن تُرسل إلى إفريقيا مقابل الحصول على العبيد الذين يُشحنون إلى المزارع في العالم الجديد، ولا سيما إلى جنوب الولايات المتحدة. الربح من السكر هو الوقود الأول لهذا المثلث التجاري، كما أنه وفّر رأس المال الأوليّ لعملية التصنيع المتنامية البريطانية. ولكن أطلق القطن وتجارة القطن التوسع الاقتصادي السريع في بريطانيا في أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر.

القطن والثورة الصناعية

تتكون ثمرة نبات القطن كقرنة كروية تعرف باسم اللوزة، تحتوي على بذور زيتية داخل كتلة من ألياف القطن. تشير أدلة إلى أن نباتات القطن، التي تنتمي إلى جنس *الجوسيبيوم* زرعت في الهند وباكستان وكذلك في المكسيك والبيرو منذ حوالي خمسة آلاف سنة، لكن النبات

لم يكن معروفًا في أوروبا حتى حوالي عام 300 قبل الميلاد عندما عاد جنود من جيش الإسكندر الأكبر من الهند بأردية قطنية. جلب التجار العرب نباتات القطن إلى إسبانيا خلال العصور الوسطى. يتميز نبات القطن أنَّه لا يتحمل الصقيع ويحتاج إلى تربة رطبة وأن تكون جيدة التصريف، كما يحتاج إلى مواسم صيف طويل حار، وهي ليست الظروف الموجودة في المناطق المعتدلة في أوروبا. لذا كان لا بد من استيراد القطن إلى بريطانيا ودول الشمال الأخرى.

أصبحت لانكشاير، في إنجلترا، مركزًا للمجمع الصناعي الكبير الذي نشأ لصناعة القُطن. ساعد المناخ الرطب في المنطقة أليافَ القطن على أن تلتصق معًا، وهو ما كان مثاليًّا لصناعة القطن، لأنه يعني تقليل احتمالية تكسر الخيوط في أثناء عمليات الغزل والنسيج. عانت مغازل القطن في المناخات الأكثر جفافًا ارتفاعَ تكاليف الإنتاج بسبب هذا العامل. بالإضافة إلى ذلك، في لانكشاير أراضٍ متاحة لبناء المغازل، وأراضٍ لإسكان الآلاف الذين دعت حاجة إليهم للعمل في صناعة القطن، ومياه وفيرة من المياه اليَسِر لتبييض القطن، وصباغته، وطباعته، وإمدادات وفيرة من الفحم، وهو عامل أصبح ذا أهمية كبيرة مع وصول الطاقة البخارية.

في عام 1760، استوردت إنجلترا 2.5 مليون رطل من القطن الخام. وبعد أقل من ثمانين عامًا، كانت مغازل القطن في البلاد تعمل بأكثر من 140 ضعف هذه الكمية. نتج عن هذه الزيادة تأثير هائل في التصنيع. أدى الطلب على خيوط القطن الرخيصة إلى ابتكار معدات آلية، وفي نهاية المطاف أصبحت جميع مراحل معالجة القطن

ميكانيكية. شهد القرن الثامن عشر تطور محالج القطن الميكانيكية لفصل ألياف القطن عن البذور، وآلات التمشيط لتحضير الألياف الخام، ومِغزل جيني، ومغزل ثُروسل[1] لسحب الألياف ولفها إلى خيط، والكثير من إصدارات المكوكات الميكانيكية للنسيج. سرعان ما أصبحت هذه الآلات، التي أدارها الإنسان في البداية، تديرها الحيوانات أو السواقي المائية. أدى اختراع جيمس وات للمحرك البخاري إلى إدخال البخار تدريجيًا بصفته مصدرًا أساسيًا للطاقة.

أتت العواقب الاجتماعية لتجارة القطن هائلة. تحولت مناطق واسعة من منطقة ميدلاندز الإنجليزية من منطقة زراعية بها مراكز تجارية صغيرة كثيرة إلى منطقة تضم ما يقرب من ثلاثمائة مدينة وقرية صناعية. أمَّا ظروف العمل والمعيشة فكانت شاقة. ساعات وساعات من العمل طُلب من العمال الالتزام بها، في ظل نظام المصانع الذي هو مزيجٌ من القواعد الصارمة ومعايير الانضباط القاسية. على الرغم من أن تجارة القطن لم تكن تمامًا مثل العبودية التي سادت مزارع القطن على الجانب الآخر من المحيط الأطلنطي، فإنها عادت بالعبودية والارتفاق والفساد السياسيّ والبؤس على آلاف مؤلفة من الذين عملوا في مصانع القطن المتربة والضوضائية والخطرة. وفي أغلب الأوقات يحصل العمال على أجورهم في صورة سلع مُبالغ في تسعيرها، ولم يكن للعمال أي رأي فيما يجري. حالة أماكن

(1) ملحوظة المترجمة: مغزل ثروسل (Throstle): هو اسم شاعري قديم لطائر الدّج أم السمان المغرد، وذلك لأنّ المغزل يُصدر صوتًا متواصلًا يُشبه صوت تغريد هذا الطائر.

السكن بائسة تدعو إلى الأسف الشديد؛ في المناطق المحيطة بالمصانع اكتظت المباني متلاصقة معًا منتشرة على طول ممرات ضيقة ومظلمة وبها وسائل صرف صحي بدائية. عاش عمال المصانع وعائلاتهم محشورين في هذه المساكن الباردة والرطبة والقذرة، في أغلب الوقت تعيش عائلتان أو ثلاث عائلات في منزل مع عائلة أخرى في القبو. قاوم أقل من نصف الأطفال الذين وُلدوا في ظل هذه الظروف حتى استطاعوا النجاة إلى عيد ميلادهم الخامس. انتاب بعض السُلطات والهيئات حالة من القلق، ليس بسبب معدل وفيات الرضع المرتفع ارتفاعًا مُروعًا، بل لأن هؤلاء الأطفال ماتوا «قبل أن يتمكنوا من العمل في المصانع، أو يشتركوا في أي عمل آخر على الإطلاق.» عندما يصل الأطفال إلى سن العمل المناسبة للعمل في مصانع القطن، وذلك لأن حجمهم الصغير يساعدهم على الزحف تحت الآلات وتتمكن أصابعهم الرشيقة من إصلاح انقطاع الخيوط عن الإبر، غالبًا ما يتعرضون للضرب لكي يظلوا مستيقظين لمدة اثنتي عشرة ساعة إلى أربع عشرة ساعة من يوم العمل.

أُثيرت حالة السخط بسبب سوء معاملة الأطفال وغيرها من الانتهاكات إلى حد توليد حركة إنسانية واسعة النطاق تطالب بقوانين تحكم ساعات العمل، وعمالة الأطفال، والسلامة والصحة في المصانع، وهي حركات نشأ عنها الكثير من تشريعاتنا الصناعية في عالمنا الحالي. شجعت الظروف الكثير من عمال المصانع على القيام بدور نَشِط في الحركة النقابية العُمالية والكثير من الحركات الأخرى من أجل تحقيق الإصلاحات الاجتماعية والسياسية والتعليمية. على

أن التغيير لم يأتِ بسهولة مع ذلك. تمتع أصحاب المصانع ومساهموهم بسلطة سياسية هائلة وظلوا في حالة تردد تجاه قبول أي انخفاض في الأرباح الضخمة بفضل تجارة القطن الذي قد يحدث بسبب تكلفة تحسين ظروف العمل.

خيَّمت سحابة من الدخان الداكن المنبعثة من مئات مغازل القطن بوصفها ركيزة دائمة فوق مدينة مانشستر، التي نمت وازدهرت بالتوازي مع تجارة القطن. استُخدمت الأرباح الناتجة عن القطن في تسريع وتيرة تحويل المنطقة إلى منطقة صناعيّة. بنيت القنوات والسكك الحديدية لنقل المواد الخام والفحم إلى المصانع والمنتجات النهائية إلى ميناء ليفربول القريب. زاد الطلب على المهندسين والميكانيكيين والبنائين والكيميائيين والحرفيين والصُّناع، أولئك الذين يتمتعون بالمهارات التقنية التي تحتاج إليها مؤسسة تصنيعية ضخمة تقدم منتجات وخدمات متنوعة مثل الأصباغ، والمبيضات، ومسابك الحديد، والأشغال المعدنية، وصناعة الزجاج، وبناء السفن، وتصنيع السكك الحديدية.

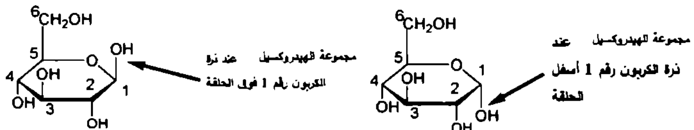
على الرغم من صدور التشريع في إنجلترا في عام 1807 الذي ألغى تجارة العبيد، لم يتوانَ الصناعيون عن استيراد القطن المزروع الذي عمل على زراعته العبيد من جنوب أمريكا. صار القطن الخام، الذي يأتي من الدول الأخرى المنتجة للقطن مثل مصر والهند والولايات المتحدة، أكبر واردات بريطانيا خلال الأعوام 1825 و1873، على أن معالجة القطن تراجعت عندما انقطعت إمدادات القطن الخام خلال الحرب العالمية الأولى. لم تتعافَ الصناعة في

بريطانيا قط ولم تعد إلى مستوياتها السابقة لأن البلدان التي تقوم على زراعة القطن، والتي عملت على تركيب آلات أكثر حداثة وقادرة على استخدام عمالة محلية أقل تكلفة، أصبحت منتجة مهمة -ومستهلكة كبيرة- للأقمشة القطنية.

اعتمد رأس المال الأساسي للثورة الصناعية على تجارة السُّكر، ومع ذلك فجزء كبير من الرَّخاء الذي تمتعت به بريطانيا في القرن التاسع عشر كان أساسه الطلب على القطن. عُرفت الأقمشة القطنية على أنها رخيصة الثمن، جذابة للنظر، مثالية للملابس والمفروشات المنزلية. يمكن مزجها مع ألياف أخرى من دون أي صعوبات كما سَهُلَ غسلها وحياكتها. سرعان ما حل القطن محل الكتان الأكثر تكلفة بصفته الألياف النباتية المفضلة لعدد كبير من الناس العاديين. أدت الزيادة الهائلة في الطلب على القطن الخام في أوروبا، وبخاصة في إنجلترا، إلى توسع كبير في العبودية في أمريكا. تطلبت زراعة القطن ارتفاع عدد العمالة. أمَّا الميكنة الزراعية والمبيدات الحشرية ومبيدات الأعشاب فهي اختراعات وصلت في وقت متأخر إلى حدٍ كبير، لذلك اعتمدت مزارع القطن على العمالة البشرية التي يُحققها وجود العبيد. في عام 1840، قُدر عدد العبيد في الولايات المتحدة بنحو 1.5 مليون. وبعد عشرين عامًا فقط، عندما كانت صادرات القطن الخام تمثل ثلثي القيمة الإجمالية لصادرات الولايات المتحدة، وصل عدد العبيد إلى أربعة ملايين.

السليلوز، عديد السكاريد البنيوي

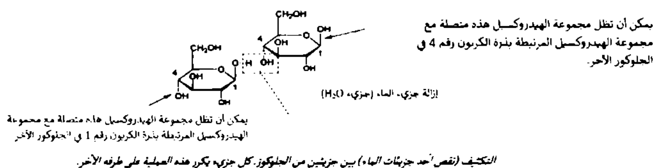
يتكون القطن، مثل الألياف النباتية الأخرى، من أكثر من 90 بالمائة من السليلوز، والسليلوز هو بوليمر الجلوكوز ومكون رئيس لجدران الخلايا النباتية. غالبًا ما يرتبط مصطلح *البوليمر* بالألياف الاصطناعية والبلاستيك، ولكن البوليمرات توجد كذلك في صورةٍ طبيعيّة. الكلمة مشتقة من كلمتين يونانيتين، *بولي* وتعني «كثير» *وميروس* وتعني «أجزاء» -أو وحدات- لذا يتكون البوليمر من عدة وحدات. يمكن تصنيف بوليمرات الجلوكوز، المعروفة أيضًا باسم عديدات السكاريد، على أساس وظيفتها في الخلية. توفر عديدات السكاريد البنوية، مثل السليلوز، وسيلة لدعم الكائن الحي؛ أمَّا عديدات السكاريد التخزينية فتوفّر طريقة لتخزين الجلوكوز حتى الحاجة إليه. عديدات السكاريد البنيوية هي وحدات الجلوكوز بيتا (β)؛ أمَّا عديدات السكاريد التخزينية فهي الجلوكوز ألفا (α). كما ناقشنا الأمر في الفصل الثالث، يشير المصطلح بيتا(β) إلى مجموعة الهيدروكسيل (OH) الموجودة في ذرة الكربون رقم 1 فوق حلقة الجلوكوز. تحتوي الصيغة البنائية للجلوكوز ألفا (α) على مجموعة الهيدروكسيل (OH) عند ذرة الكربون رقم 1 أسفل الحلقة.



صيغة بنائية للجلوكوز بيتا (β) — *صيغة بنائية للجلوكوز ألفا* (α)

لعل الفرق بين الجلوكوز ألفا والجلوكوز بيتا فرق ضئيل، لكنه الفرق المسؤول عن وجود اختلافات هائلة في الوظيفة والدور بين عديدات السكاريد المختلفة المشتقة من كل نسخة من الجلوكوز: فلو أن المجموعة فوق الحلقة، فهي عديدات سكاريد بنيوية؛ وإن كانت أسفل الحلقة فهي عديدات سكاريد تخزينية. وحقيقة أن يؤدي التغيير الضئيل في بناء الجزيء إلى تبعات بالغة على خصائص المركب لهو أمر يحدث مرارًا وتكرارًا في عالم الكيمياء. تبرهن بوليمرات الجلوكوز بيتا على هذه الملاحظة على نحوٍ جيد.

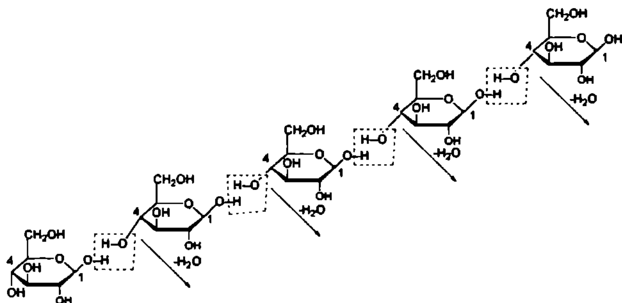
في كل من عديدات السكاريد البنيوية والتخزينية، ترتبط وحدات الجلوكوز معًا من خلال ذرة الكربون رقم 1 في جزيء الجلوكوز وذرة الكربون رقم 4 في جزيء الجلوكوز المجاور. يحدث هذا الارتباط عن طريق إزالة جزيء الماء المتكون من ذرة هيدروجين (H) لأحد جزيئات الجلوكوز ومجموعة الهيدروكسيل (OH) من جزيء الجلوكوز الآخر. تُعرف هذه العملية باسم التكثيف، وبالتالي تُعرف هذه البوليمرات باسم بوليمرات التكثيف.



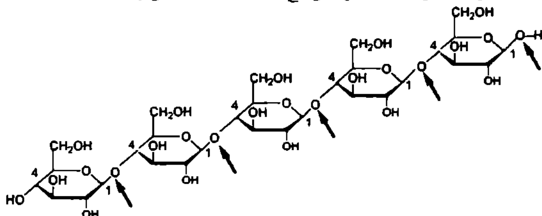
التكثيف (نقص أحد جزيئات الماء) بين جزيئين من الجلوكوز. كل جزيء يكرر هذه العملية على طرفه الآخر.

يستطيع كل طرف من الجزيء الانضمام إلى الآخر عن طريق تفاعل التكثيف، وتشكيل سلاسل طويلة متواصلة من وحدات

الجلوكوز مع مجموعات الهيدروكسيل (OH) المتبقية الموزعة حول الجزء الخارجي من السلسلة.



إزالة جزيء H_2O بين ذرة الكربون رقم 1 في جزيء جلوكوز وذرة الكربون رقم 4 في الجزيء المجاور يُشكل سلسلة طويلة من بوليمر السليلوز. يُوضح هذا المخطط خمس وحدات.



التركيب الكيميائي لجزء من سلسلة طويلة للسليلوز. الأكسجين (O) المتصل بكل ذرة كربون رقم 1، كما يُشير السهم، هو أعلى يسار الحلقة.

يعود سبب وجود كثير من السمات التي تجعل القطن نسيجًا مرغوبًا فيه إلى البناء الفريد لجزيء السليلوز. تتجمع سلاسل السليلوز الطويلة معًا بإحكام، لتشكل الألياف الصلبة غير القابلة للذوبان التي تُبنى منها جدران الخلايا النباتية. يُظهر تحليل الأشعة السينية والمجهر الإلكتروني، وهما تقنيات تستخدم لتحديد التركيب

الفيزيائي للمواد، أن سلاسل السليلوز توجد جنبًا إلى جنب معًا في صورة حِزَم. يساعد شكل ترابط بيتا الموجود في بناء جزيئات سلاسل السليلوز على الارتباط معًا ارتباطًا وثيقًا بما يكفي لتكوين هذه الحزم، وتلتف بعد ذلك معًا لتشكل أليافًا تراها العين المجردة. على السطح الخارجي للحزم توجد مجموعات الهيدروكسيل (OH) التي لم تشارك في تكوين سلسلة السليلوز الطويلة، ويمكن لمجموعات الهيدروكسيل (OH) هذه جذب جزيئات الماء. وبالتالي يمكن للسليلوز أن يمتص الماء، وهو ما يمثل الامتصاصية العالية للقطن والمنتجات الأخرى التي يدخل في صناعتها السليلوز. أمَّا عبارة «القطن يتنفس» لا يُقصد بها مرور الهواء، بل يُقصد بها امتصاص القطن للماء. في الجوِّ الحار تمتص الملابس القطنية العرق من الجسم ويتبخر، مما يؤدي إلى تهدئة درجة حرارتنا. لكن الملابس المصنوعة من النايلون أو البوليستر لا تمتص الرطوبة، لذلك لا «تطرد» العرق بعيدًا عن الجسم، مما تُشعرنا بحالة رطبة غير مريحة.

أمَّا عديد السكاريد البنيوي الآخر فهو *الكيتين*، وهو نوع من السليلوز الموجود في أصداف القشريات مثل سرطان البحر والجمبري وجراد البحر.[1] الكيتين، مثل السليلوز، عديد السكاريد من النوع بيتا.

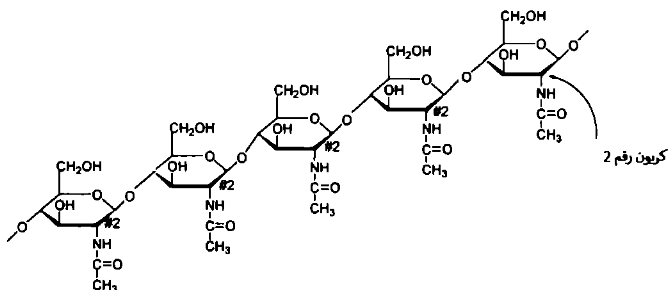
(1) ملحوظة المترجمة: يُعرف أيضًا باسم الكركند والإستاكوزا.



حقول من السليلوز؛ حقل القطن

(التقطت الصورة بني لو كوتور)

يختلف عن السليلوز فقط في موضع ذرة الكربون رقم 2 في كل وحدة جلوكوز، حيث يحل محل مجموعة الهيدروكسيل (OH) مجموعةُ أميد ($NHCOCH_3$). لذا فإن كل وحدة من هذا البوليمر البنيوي هي جزيء جلوكوز حيث تحل مجموعةُ أميد ($NHCOCH_3$) محل مجموعة الهيدروكسيل (OH) عند ذرة الكربون رقم 2. اسم هذا الجزيء هو إن-أسيتيل جلوكوزأمين (N-acetyl glucosamine).



جزء من صيغة البوليمر كيتين الموجود في أصداف القشريات. عند ذرة الكربون رقم 2، حل محل مجموعة الهيدروكسيل للسليلوز مجموعة أميد $NHCOH_3$

قد لا يبدو هذا مثيرًا للاهتمام إلى حدٍ كبير، ولكن إذا كنت تعاني التهاب المفاصل أو أي أمراض المفاصل الأخرى، فربما تعرف الاسم حقًّا. إن-أسيتيل جلوكوزأمين والمشتق المرتبط به ارتباطًا وثيقًا الجلوكوزأمين، وكلاهما مصنوع من أصداف القشريات، ساعدا على أن يشعر مرضى التهاب المفاصل بالراحة. يُعتقد أنهما يُحفِّزان استبدال المواد الغضروفية في المفاصل أو على أنهما مُكملان لهذه المواد.

يفتقر البشر وجميع الثدييات الأخرى إلى الإنزيمات الهاضمة اللازمة لتفكيك الروابط من النوع بيتا في هذه السكريات البنيوية، وبالتالي لا يُمكننا استخدامها على أنَّها مصدر للغذاء، في حين أنَّه توجد مليارات ومليارات وحدات الجلوكوز المتوافرة على شكل سليلوز في مملكة النبات. لكن توجد البكتيريا والأوليات الحيوانية التي تنتج الإنزيمات اللازمة لتقسيم الرابطة بيتا وبالتالي تقدر على تفكيك جزيئات السليلوز إلى جزيئات الجلوكوز المكوِّنة له. يشتمل

الجهاز الهضمي لبعض الحيوانات على مناطق تخزين مؤقتة تعيش فيها هذه الكائنات الحية الدقيقة، مما يتيح لمضيفيها الحصول على الغذاء. على سبيل المثال، بداخل الخيول يُوجد معي الأعور -وهو كيس كبير تتصل به الأمعاء الدقيقة والغليظة- مخصص لهذا الغرض. أمَّا المجترات، وهي الحيوانات كالماشية والأغنام، فلها مَعِدة مكونة من أربع حجرات، حجرة منها تحتوي على البكتيريا التكافلية. وهذه الحيوانات أيضًا تجتر الطَّعام بصورة دورية وتعيد مضغ هذا الطَّعام المُجتر، وهو تكيف آخر لنظام الجهاز الهضمي هدفه تحسين الوصول إلى إنزيم الرابطة بيتا.

في الأرانب وبعض القوارض الأخرى، تعيش البكتيريا الضرورية في الأمعاء الغليظة. ونظرًا إلى أن الأمعاء الدقيقة هي المكان الذي يحصل فيه امتصاص معظم العناصر الغذائية ونظرًا إلى أنَّ الأمعاء الغليظة[1]

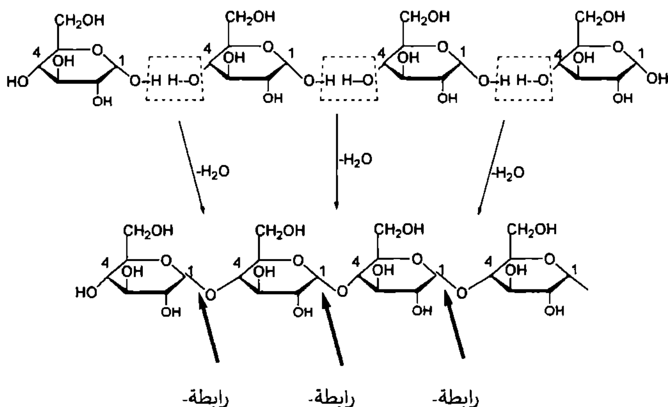
تلي الأمعاء الدقيقة، فإن هذه الحيوانات تحصل على المنتجات من شق الرابطة بيتا عن طريق تناول برازها. ومع مرور العناصر الغذائية عبر القناة الهضمية مرة أخرى، تصبح الأمعاء الدقيقة الآن قادرة على امتصاص وحدات الجلوكوز التي تُحرر من جزيئات السليلوز في عملية المرور الأولى. قد يبدو هذا لنا طريقة كريهة تمامًا للتكيف مع اتجاه مجموعة الهيدروكسيل (OH)، لكن من الواضح أنها تعمل على نحوٍ جيِّد في هذه القوارض. تحتوي بعض الحشرات، بما في ذلك النمل الأبيض والنمل الحفار وغيرها من الآفات آكلة الأخشاب،

(1) ملحوظة المترجمة: الأمعاء الغليظة هي المسئولة عن إنتاج البرُاز الصلب.

على كائنات دقيقة تسمح لها بالوصول إلى السليلوز للحصول على الغذاء، مما يؤدي في بعض الأحيان إلى نتائج كارثية على المنازل والمباني البشرية. على الرغم من أننا لا نستطيع استقلاب السليلوز، فلا يزال بالغ الأهمية في نظامنا الغذائي. تساعد الألياف النباتية، التي تتكون من السليلوز ومواد أخرى غير قابلة للهضم، على نقل الفضلات على طول الجهاز الهضمي.

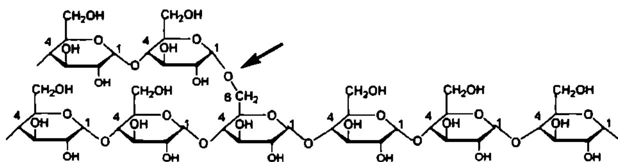
عديدات السكاريد التخزينية

على الرغم من أننا نفتقر إلى الإنزيم الذي يكسر الرابطة بيتا، فما يزال لدينا إنزيم هضمي يكسر الرّابطة ألفا. عُثر على الصيغة البنائية ألفا في عديدات السكاريد التخزينية، أي النشا والجلايكوجين. أحد مصادرنا الغذائية الرئيسة للجلوكوز، النشا، توجد في الجذور والدرنات وبذور نباتات كثيرة. تتألف من جزيئين عديدي السكاريد ألفا مختلفين قليلًا، وكلاهما بوليمر من وحدات الجلوكوز من النوع ألفا. يتكون ما يصل من 20 إلى 30 بالمائة من النشا من الأميلوز، وهو سلسلة غير متفرعة مكونة من عدة آلاف من وحدات الجلوكوز المرتبطة عند ذرة الكربون رقم 4 في أحد جزيئات الجلوكوز وذرة الكربون رقم 1 في جزيء الجلوكوز الآخر. الفرق الوحيد بين الأميلوز والسليلوز هو أن الروابط موجودة في الأميلوز من النوع ألفا وفي السليلوز من النوع بيتا. أمَّا الأدوار التي يلعبها السليلوز والأميلوز فمختلفة اختلافًا كبيرًا.



جزء من سلسلة أميلوز مكونة بعد نقص جزيئات الماء بين وحدات الجلوكوز، هذه الروابط، مثل روابط الأكسجين، أسفل الحلقة عند ذرة الكربون رقم 1

يشكل الأميلوبكتين نسبة 70 إلى 80 بالمائة المتبقية من النشا. يتكون أيضًا من سلاسل طويلة من وحدات الجلوكوز ألفا المرتبطة عند ذرة الكربون رقم 1 وذرة الكربون رقم 4، عدا أن الأميلوبكتين هو جزيء متفرع ذو روابط متناوبة، عند ذرة الكربون رقم 1 لأحد جزيئات جلوكوز وذرة الكربون رقم 6 لوحدة جلوكوز أخرى، ويحدث التفرع من كل عشرين إلى خمس وعشرين وحدة جلوكوز. ووجود ما يصل إلى مليون وحدة جلوكوز في سلاسل مترابطة يجعل الأميلوبكتين أحد أكبر الجزيئات الموجودة في الطبيعة.



جزء من تركيب الأميلوبكتين. يُشير السهم أن الارتباط الواقع بين ذرة الكربون رقم 1 وذرة الكربون رقم 6 هو السبب في تفريع تركيب الأميلوبكتين.

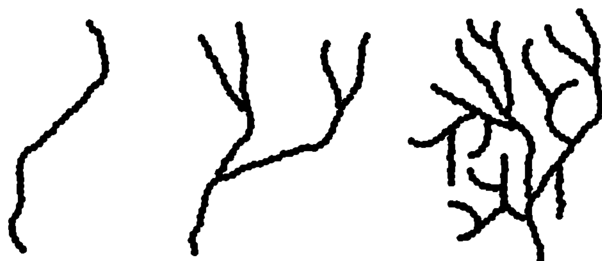
في النشويات، للرابطة ألفا مسئولية وجود خصائص أخرى مهمة بالإضافة إلى قدرتنا على هضمها. تتشكل سلاسل الأميلوز والأميلوبكتين في صورة حلزونية بدلًا من البناء الخطي المُحكم للسليلوز. عندما تمتلك جزيئات الماء ما يكفي من الطاقة، فإنها تستطيع اختراق اللفات الحلزونية الأكثر انفتاحًا؛ ولذلك النشا قابل للذوبان في الماء في حين أنَّ السليلوز ليس كذلك. كما يعلم جميع الطهاة، فإن ذوبان النشا في الماء يعتمد اعتمادًا كبيرًا على درجة الحرارة. إذا سُخن مُعلّق النشا والماء، فإن حبيبات النشا تمتص المزيد والمزيد من الماء حتى، عند درجة حرارة معينة، تتباعد جزيئات النشا قسريًّا، مما يؤدي إلى ظهور شبكة من الجزيئات الطويلة المتناثرة في السائل. ويعرف هذا باسم هلام. بعد ذلك، يصبح المعلق الغائم هذا واضحًا، ثم يتحول الخليط إلى مزيج سميك. ولذلك يستخدم

الطهاة مصادر النشا مثل الدقيق ونشا التابيوكة[1] ونشا الذرة لتكثيف الصلصات.

أمَّا عديد السكاريد التخزيني في الحيوانات فهو الجلايكوجين، يتشكل بصورة أساسية في خلايا الكبد والعضلات الهيكلية. الجلايكوجين هو جزيء مشابه تشابهًا كبيرًا للأميلوبكتين، ولكن في حين أن الأميلوبكتين يحتوي على روابط تشعبية من النوع ألفا عند ذرة الكربون رقم 1 وذرة الكربون رقم 6 فقط كل عشرين أو خمس وعشرين وحدة جلوكوز، فإن الجلايكوجين لديه هذه الروابط المتشعبة من النوع ألفا كل عشر وحدات جلوكوز. أمَّا الجزيء الناتج فهو متفرع تفرعًا كبيرًا. وهذا له نتيجة مهمة أهمية فائقة ينعكس تأثيرها في الحيوانات. تحتوي السلسلة غير المتفرعة على طرفين فقط، ولكن السلسلة المتفرعة تفرعًا كبيرًا، ولها العدد الإجمالي نفسه لوحدات الجلوكوز، لها عدد كبير من الأطراف. عندما تستدعي الحاجة إلى الحصول على طاقة بسرعة، يمكن إزالة وحدات جلوكوز كثيرة في وقت واحد من هذه الأطراف الكثيرة. أمَّا النباتات، على عكس الحيوانات، فلا تحتاج إلى دفعات مفاجئة من الطاقة للهروب من الحيوانات المفترسة أو مطاردة فريسة، لذا فإن تخزين الوقود مثل الأميلوبكتين الأقل تفرعًا والأميلوز غير المتفرع يكفي لمعدل الأيض المنخفض للنبات. هذا الاختلاف الكيميائي الصغير، الذي هو

(1) ملحوظة المترجمة: مادة نشوية تُستخرج عادة من جذور نبتة الكاسافا (Cassava).

اختلاف بسبب العدد وليس نوع الارتباط المتشعب، هو أساس أحد الاختلافات الأساسية بين النباتات والحيوانات.

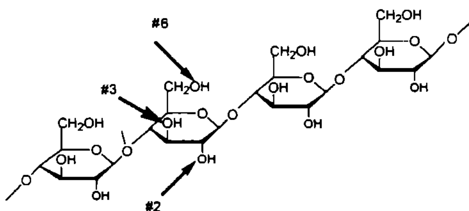


الاختلاف في التشعب أو التفريع في النشا (الأميلوز والأميلوبكتين) مقارنة بالجلايكوجين. كلما زاد التشعب، زاد عدد نهايات السلاسل التي تكسر الإنزيمات الروابط بينها، وزادت سرعة استقلاب الجلوكوز.

السليلوز يحدث انفجارًا عظيمًا

على الرغم من وجود كمية هائلة من عديد السكاريد التخزيني في العالم، لا يزال عدد عديد السكاريد البنيوي أكبر إلى حد كبير، وهو السليلوز. بحسب بعض التقديرات، فإن نصف إجمالي الكربون العضوي مرتبط بالسليلوز. يُصنَّع ما يقدر بنحو 10^{14} كيلوجرامًا (حوالي 100 مليار طن) من السليلوز حيويًّا ويُحلل سنويًّا. نظرًا إلى أنَّ السليلوز ليس موردًا وافرًا فقط، بل أيضًا موردًا متجددًا، فإن إمكانية استخدامه بصفته مادة أولية رخيصة ومتوافرة بسهولة للمنتجات الجديدة أثارت اهتمام الكيميائيين ورجال الأعمال لفترة طويلة.

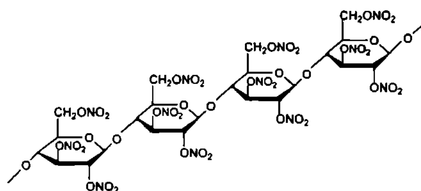
بحلول ثلاثينيات القرن التاسع عشر، وُجِدَ أن السليلوز يذوب في حمض النيتريك المركز، وأن هذا المحلول، عند سكبه في الماء، يكوِّن مسحوقًا أبيض شديد الاشتعال والانفجار. لكن تأجل تسويق هذا المركب تجاريًّا حتى عام 1845 واكتشاف فريدريش شونباين من بازل في سويسرا. ظلَّ شونباين يجري تجارب على خليط من أحماض النيتريك والكبريتيك في مطبخ منزله، ضد رغبة زوجته، التي ربما منعت منعًا باتًّا، وهي ممانعة مفهومة، استخدام مسكنها لمثل هذه الأنشطة. في ذلك اليوم تحديدًا كانت زوجته خارج المنزل، فسكب شونباين بعضًا من الخليط الحمضي. ولحرصه على تنظيف الفوضى سريعًا، أمسك أول شيء وصل إلى يده: المئزر القطني لزوجته. مسح ما انسكب ثم علق المئزر فوق الموقد حتى يجف.



الصيغة البنائية لجزء من جزيء السليلوز. تُشير الأسهم إلى أماكن وقوع النترتة عند مجموعة الهيدروكسيل المتصلة بذرة الكربون رقم 2 و3 و6 في وحدة الجلوكوز.

ولم يمض وقت طويل حتى انفجر المئزر بصوت عالٍ علوًا كبيرًا مُحدثًا وميضًا عظيمًا. لا يُعرف كيف كان رد فعل زوجة شونباين عندما عادت إلى المنزل لتجد زوجها يواصل تجاربه في المطبخ على القطن وخليط حمض النيتريك. ما حصل تسجيله هو ما أطلق عليه شونباين مادته، *شيسباومفول* أو قطن البارود. يتكون القطن من

90٪ من السليلوز، ونحن نعلم الآن أن قطن البارود الذي ابتكره شونباين ما هو إلَّا نيتروسليلوز، المركب الذي يتكون عندما تحل مجموعة النيترو (NO2) محل ذرة الهيدروجين (H) من مجموعة الهيدروكسيل (OH) في عدد من المواضع في جزيء السليلوز. ليست كل هذه المواضع نتراتية بالضرورة، ولكن كلما زاد نيترة[1] السليلوز، زاد انفجار القطن المنتج.



جزء من الصيغة البنائية للنيتروسليلوز أو "قطن البارود" يُظهر عملية النيترة: تحل مجموعة NO_2 محل الهيدروجين في كل موضع ممكن لمجموعة الهيدروكسيل في كل وحدة جلوكوز في السليلوز.

أدرك شونباين الربح المحتمل من اكتشافه، وأنشأ مصانع لتصنيع النيتروسليلوز، على أمل أن يصبح بديلًا للبارود. لكن النيتروسليلوز رُبما يُصبح مركبًا شديد الخطورة ما لم يبق جافًا وعُومل بعناية فائقة. في ذلك الوقت، لم يكن التأثير المزعزع للاستقرار لحمض النيتريك المتبقي في المادة مفهومًا، وبالتالي دُمرت عدد من المصانع عن طريق الخطأ بسبب حدوث انفجارات عنيفة، مما أدى إلى توقف شونباين عن العمل. لم يكن الأمر كذلك حتى أواخر ستينيات القرن التاسع عشر، عندما عُثِرَ على طرق مناسبة لتنظيف قطن البارود من حمض النيتريك الزائد، حيث أصبح من الممكن جعله مستقرًا بدرجة كافية لاستخدامه في المتفجرات التجارية.

---

(1) ملحوظة المترجمة: تُعرف أيضًا بعملية النترتة.

وفي وقت لاحق، أدى التحكم في عملية النيترة إلى ظهور أنواع مختلفة من النيتروسليلوز، بما في ذلك قطن البارود الذي يحتوي على نسبة أعلى من النترات، والمواد التي تحتوي على النترات بنسبة أقل مثل الكولوديون والسيليولويد. الكولوديون هو نيتروسيليلوز ممزوج بالكحول والماء، وكان يستخدم على نطاق واسع في التصوير الفوتوغرافي المبكر. أمَّا السيليلويد، وهو نيتروسليلوز ممزوج بالكافور، فأحد أوائل المواد البلاستيكية الناجحة وكان يستخدم في الأصل في رقائق تصوير للصور المتحركة. عُثر على مشتق آخر من السليلوز، وهو خلات السليلوز، أقل قابلية للاشتعال من النيتروسليلوز وسرعان ما حلَّ محله في كثير من الاستخدامات. تدين أعمال التصوير الفوتوغرافي وصناعة الأفلام، وهي مؤسسات تجارية هائلة اليوم، ببداياتها إلى الصيغة البنائية لجزيء السليلوز متعدد الاستخدامات.

السليلوز غير قابل للذوبان في جميع المذيبات تقريبًا ولكنه يذوب في محلول قلوي لمذيب عضوي واحد، وهو ثنائي كبريتيد الكربون، مكونًا مشتقًا من السليلوز يسمى زانتات السليلوز. زانتات السليلوز هو شكل صمغي غرائي لزج سُمِّي تجاريًّا الفيسكوز. عندما يُدخَل الفيسكوز عبر ثقوب صغيرة وتُعالج الخيوط الناتجة بالحمض، يتجدد السليلوز على هيئة خيوط دقيقة يمكن نسجها في نسيج يعرف تجاريًا باسم الحرير الصناعي. كما توجد عملية مماثلة، حيث يُطرد الفيسكوز من خلال شق ضيق، وتنتج صفائح من السيلوفان. عادة ما ينظر إلى الرايون والسيلوفان على أنهما من المنسوجات الاصطناعية، ولكنهما ليسا من صنع الإنسان بالكامل، بمعنى أنهما مجرد صورتين مختلفتين إلى حد ما مشتقتين من السليلوز الموجود بصورة طبيعية.

كل من بوليمر الجلوكوز (النشا) والبوليمر بيتا (السليلوز) من المكونات الأساسية لنظامنا الغذائيّ، وبالتالي كان لهما، وسيظل دائمًا، وظيفة لا غنى عنها في المجتمع البشري. لكن الأدوار غير الغذائية للسليلوز ومشتقاته المختلفة هي التي خلقت معالم تاريخية. كان السليلوز، الموجود في صورة قطن، مسؤولًا عن اثنين من أكثر الأحداث تأثيرًا في القرن التاسع عشر: الثورة الصناعية والحرب الأهلية الأمريكية. القطن هو نجم الثورة الصناعية، حيث غيّر وجه إنجلترا بسبب هجرة سكان الريف، والتحضر، والتصنيع السريع، والابتكار والاختراع، والتغيير الاجتماعي، والازدهار. كما أن آثار القطن من أعظم الأزمات في تاريخ الولايات المتحدة؛ فالعبودية هي القضية الأكثر أهمية في الحرب الأهلية بين الولايات الشمالية التي ألغت العبودية والولايات الجنوبية، التي كان نظامها الاقتصادي يعتمد على القطن الذي يتولى العبيد زراعته.

أمَّا النيتروسليلوز (قطن البارود) فهو من أوائل الجزيئات العضوية المتفجرة التي صنعها الإنسان، وجاء اكتشافه بدايةً لعدد من الصناعات الحديثة التي تعتمد في الأصل على أشكال السليلوز المنترتة: المتفجرات، والتصوير الفوتوغرافي، وصناعة الأفلام. لعبت صناعة النسيج الاصطناعية، التي بدأت من الحرير الصناعي -وهو شكل مختلف من السليلوز- دورًا مهمًا في تشكيل الاقتصاد على مدى القرن الماضي. من دون هذه التطبيقات لجزيء السليلوز، لصار عالمنا مكانًا مختلفًا تمامًا.

الفصل الخامس

مركبات النيترو

لم يكن انفجار مئزر زوجة شونباين هو المثال الأول لجزيء متفجر من صنع الإنسان، ولن يكون الأخير. عندما تجري التفاعلات الكيميائية على نحو سريع إلى حدٍ كبير، يمكن أن يتولَّد لها قوة مذهلة. والسليلوز هو واحد فقط من الجزيئات الكثيرة التي عدلناها للاستفادة من إمكانات التفاعل الانفجاري. بعض هذه المركبات لها فائدة هائلة؛ أمَّا بعضها الآخر فتسبب في دمار واسع النطاق. ومن خلال خصائصها شديدة المتفجرة، صار لهذه الجزيئات تأثير ملحوظ في العالم.

على الرغم من أن الصيغة البنائية للجزيئات المتفجرة يتباين فيما بينها تباينًا كبيرًا، ففي أغلب الأحيان تحتوي على مجموعة نيترو. هذا المزيج الصغير من الذرات، ذرة واحدة من النيتروجين وذرتين من الأكسجين، NO2، الملتصقة في الموضع الصحيح، زاد إلى حدٍ هائل من قدرتنا على شن الحرب، وغيَّر مصير الأمم، وسمح لنا فعليًّا بتحريك الجبال.

البارود: المتفجر الأول

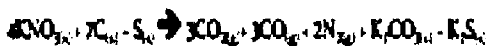
البارود (أو المسحوق الأسود)، أول خليط متفجر اختُرع على الإطلاق، استخدم في العصور القديمة في الصين والجزيرة العربية والهند. تشير النصوص الصينية الأولى إلى «مادة الحريق الكيميائية» أو «عقّار النار». ولم تُسجل مكوناته حتى أوائل عام 1000 بعد الميلاد، وحتى ذلك الحين لم تُحدد النسب الفعلية المطلوبة لمكونات ملح النترات والكبريت والكربون. ملح النترات (يسمى الملح الصخري أو «الثلج الصيني») هو نترات البوتاسيوم، صيغته الكيميائية KNO_3. وُجد الكربون في البارود على هيئة فحم خشبي يعطي المسحوق لونه الأسود.

استُخدم البارود في البداية في صناعة المفرقعات والألعاب النارية، ولكن بحلول منتصف القرن الحادي عشر، أُطلقت الأجسام المشتعلة -المستخدمة في صورة أسلحة والمعروفة باسم السهام النارية- من البارود. في عام 1067، وضع الصينيون إنتاج الكبريت والملح الصخري تحت سيطرة الحكومة.

لا نعلم علم اليقين موعد وصول البارود إلى أوروبا. كتب الراهب الفرنسيسكاني روجر بيكون، الذي وُلد في إنجلترا وتلقى تعليمه في جامعة أكسفورد وجامعة باريس، عن البارود في عام 1260 تقريبًا، أي قبل عدة سنوات من عودة ماركو بولو إلى البندقية بقصص البارود في الصين. بيكون أيضًا طبيب وعالم تجريبي، ومُطّلع على العلوم التي نسميها الآن علم الفلك والكيمياء والفيزياء. كما أجاد اللغة العربية، ومن المرجح أنه تعلم عن البارود على يد قبيلة بدوية،

وهي قبيلة ساراسين[1]، التي عملت وسيطًا بين الشرق والغرب. لا بد أن بيكون أدرك القدرة التدميرية المُحتملة للبارود، وذلك لأنه سجَّل وصفه لمكوناته في صيغة جناس تصحيفي فكان لا بد من فك شيفرته للكشف عن النسب: سبعة أجزاء من ملح البارود، وخمسة أجزاء من الفحم، وخمسة أجزاء من الكبريت. وظل لغزه من دون حل لمدة 650 عامًا قبل أن تُفك شيفرته أخيرًا على يد عقيد في الجيش البريطاني. وبحلول ذلك الوقت، كان البارود، بلا شك، مستخدمًا لعدة قرون.

يختلف البارود الحالي إلى حد ما في الصيغة البنائية ولكنه يحتوي على نسبة أكبر من ملح البارود مقارنة ببنية بيكون. يمكن كتابة التفاعل الكيميائى لانفجار البارود على النحو التالى:



كبريتيد البوتاسيوم، كربونات البوتاسيوم، نيتروجين، أول أكسيد الكربون، ثاني أكسيد الكربون، كبريت، كربون، نترات البوتاسيوم

تخبرنا هذه المعادلة الكيميائية بنسب المواد المتفاعلة ونسب والنواتج الخارجة من التفاعل. الحرف (s) يعني أن المادة صلبة، و(g) يعني أنها غازية. يمكنك أن ترى من المعادلة أن جميع المواد المتفاعلة هي مواد صلبة، ولكن النَّاتج هو ثمانية جزيئات من الغازات: ثلاثة ثاني أكسيد

(1) ملحوظة المترجمة: يُشير مصطلح ساراسين إلى القبائل التي عاشت في شمال غرب الجزيرة العربية. في البداية استُعمل اللفظ إلى الإشارة إلى قبائل الأنباط، ثم توسَّع استخدامه ليشمل القبائل التي تسكن الصّحراء. وقد يستخدمه بعضٌ للإشارة إلى المسلمين.

الكربون، وثلاثة أول أكسيد الكربون، واثنين من النيتروجين. وهي الغازات الساخنة المتمددة الناتجة عن الاحتراق السريع للبارود التي تدفع قذيفة مدفع أو رصاصة. وتنتشر كربونات البوتاسيوم الصلبة والكبريتيد على شكل جزيئات صغيرة، وهو الدخان الكثيف المميز الناتج عن انفجار البارود.

يُعتقد أنه أُنتج في حوالي عام 1300 إلى 1325، وكان أول سلاح ناري، وهو قفل النار، أنبوبًا من الحديد مملوء بالبارود، وقد اشتعل عن طريق إدخال سلك ساخن. ومع تقدم الأسلحة النارية الأكثر تطورًا (المسكيت، والزَّند المصوَّن، ومسدس مُثبَّت البكرة)، أصبحت الحاجة إلى معدلات مختلفة لحرق البارود واضحة. احتاجت الأسلحة النارية إلى مسحوق أسرع احتراقًا، والبنادق إلى مسحوق أبطأ احتراقًا، والمدافع والصواريخ إلى احتراق أبطأ. استُخدم خليط من الكحول والماء لإنتاج مسحوق متكتل يمكن سحقه وغربلته للحصول على أجزاء ناعمة ومتوسطة وخشنة. كلما صار المسحوق ناعمًا، صار الاحتراق أسرع، لذلك كان من الممكن تصنيع البارود المناسب لمختلف التطبيقات. أمَّا المياه المستخدمة في التصنيع فتأتي في كثير من الأحيان من بول العمال في مصنع البارود؛ يُعتقد أن بول شارب النبيذ الثقيل ينتج بارودًا قويًا تحديدًا. أما بول رجل الدين، أو بالأحرى الأسقف، فكان يُنظر إليه أيضًا على أنه يعطي منتجًا متميزًا.

إنتاج الغازات وما يترتب على ذلك من تمدد سريع بسبب حرارة التفاعل هو القوة الدافعة وراء المتفجرات. حجم كمية معينة من الغازات أكبر بكثير من الكميات المماثلة من المواد الصلبة أو السائلة. ترجع القوة التدميرية للانفجار إلى موجة الصدمة الناتجة عن التمدد الهائل في الحجم مع تشكل الغازات. تنتقل موجة الصدمة للبارود بسرعة حوالي مئة متر في الثانية، ولكن في حال المتفجرات «الشديدة» (التي إن تي أو النيتروجليسرين، على سبيل المثال) يمكن أن تصل إلى ستة آلاف متر في الثانية.

تنبعث من جميع التفاعلات الانفجارية كميات كبيرة من الحرارة. يقال إن مثل هذه التفاعلات هي تفاعلات طاردة لكميات هائلة من الحرارة. تعمل الكميات الكبيرة من الحرارة سريعًا على زيادة حجم الغازات؛ كلما ارتفعت درجة الحرارة زاد حجم الغاز. تنتج الحرارة من فرق الطاقة بين الجزيئات الموجودة على جانبي معادلة التفاعل الانفجاري. تمتلك الجزيئات الناتجة (عن يمين المعادلة) طاقة أقل مرتبطة بروابطها الكيميائية مقارنة بالجزيئات البادئة في التفاعل (عن اليسار). المركبات التي تتكون هي مركبات أكثر استقرارًا. في التفاعلات الانفجارية لمركبات النيترو، ينتج جزيء النيتروجين الأكثر استقرارًا، وصيغته الكيميائية N2. يرجع استقرار جزيء النيتروجين إلى قوة الرابطة الثلاثية التي تربط ذرتي النيتروجين معًا.

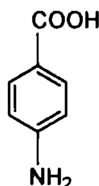


صيغة جزيء النيتروجين

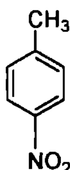
نظرًا إلى أن الرابطة الثلاثية شديدة القوّة، فذلك يعني أن يتوجب وجود كمية كبيرة من الطاقة لكسرها. لكن على العكس من ذلك، عندما تتكون الرابطة الثلاثية في جزيء النيتروجين N2، تطلق كمية كبيرة من الطاقة، وذلك تحديدًا ما هو مطلوب في التفاعل الانفجاري.

بالإضافة إلى إنتاج الحرارة والغازات، فإن الخاصية الثالثة المهمة للتفاعلات الانفجارية هي أنها يجب أن تتم بسرعة عالية. فلو أنَّ التفاعل الانفجاري تم ببطء، فإن الحرارة الناتجة سوف تتبدد وتنتشر الغازات في المناطق المحيطة من دون زيادة الضغط العنيفة، وتدمر موجة الصدمة، وتختفي درجات الحرارة المرتفعة المميزة للانفجار. أمَّا الأكسجين المطلوب لمثل هذا التفاعل فيجب أن يأتي من الجزيء الذي ينفجر. ولا يمكن أن يُحصل عليه من الهواء، لأن الأكسجين الموجود في الغلاف الجوي غير متوافر بالسرعة الكافية. وبالتالي فإن مركبات النيترو، التي يرتبط فيها النيتروجين والأكسجين معًا، غالبًا ما تكون متفجرة، في حين أن المركبات الأخرى التي تحتوي على كل من النيتروجين والأكسجين، ولكنها غير مرتبطة معًا، ليست كذلك.

يمكن ملاحظة ذلك من خلال الأيزومرات على سبيل المثال، فالأيزومرات هي مركبات لها صيغة كيميائية موحدة ولكن لها صيغ بنائية مختلفة. يحتوي كل من *بارا* نيتروتولوين وحمض *بارا* أمينوبنزويك على سبع ذرات كربون وسبع ذرات هيدروجين وذرة نيتروجين واحدة وذرتين أكسجين، ذرات لها صيغ كيميائية متطابقة وهي C_7H7NO2، لكن هذه الذرات مرتبة بشكل مختلف في كل جزيء.



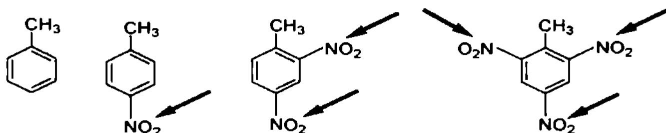
بارا أمينوبنزويك



بارا نيتروتولوين

يُمكن أن تكون مادة *بارا* أو ب-نيتروتولوين (كلمة *بارا* تخبرك فقط أن مجموعة الميثيل (CH3) ومجموعة النترات (NO3) في طرفي الجزيء، كُل في طرف مقابل للآخر) متفجرة، في حين أن حمض ب-أمينوبنزويك ليس متفجرًا على الإطلاق. في الواقع ربما تكون فركته على بشرتك في الصيف؛ فهو حمض بارا أمينوبنزويك (PABA)، العنصر النشط في كثير من منتجات الوقاية من الشمس. تمتص مركبات مثل حمض بارا أمينوبنزويك الأشعة فوق البنفسجية عند الأطوال الموجية التي وُجد أنها الأكثر ضررًا لخلايا الجلد. يعتمد امتصاص الأشعة فوق البنفسجية عند أطوال موجية معينة على التناوب بين الروابط المزدوجة والروابط الأحادية في المركب، وربما أيضًا مع ذرات الأكسجين والنيتروجين المرتبطة. يؤدي التباين في عدد الروابط أو الذرات لهذا النمط التناوبي إلى تغيير الطول الموجي للامتصاص. يمكن استخدام المركبات الأخرى التي تمتص عند الأطوال الموجية المطلوبة كواقٍ من الشمس شريطة ألَّا تُغسل بسهولة عند استخدام الماء، وألَّا يكون لها آثار سامة أو حساسية، أو رائحة أو طعم كريه، ولا تتحلل في الشمس.

تعتمد انفجارية الجزيء المنترت على عدد مجموعات النيترو المرتبطة به. يحتوي النيتروتولوين على مجموعة نيترو واحدة فقط. يمكن إضافة مزيد من النترات بإضافة مجموعتين أو ثلاث مجموعات نيترو أخرى، مما يؤدي إلى تكوين ثنائي أو ثلاثي نيتروتولوين على الترتيب. في حين أن النيتروتولوين وثنائي النيتروتولوين يمكن أن ينفجرا، فهما لا يتمتعان بالقوة نفسها التي يتمتع بها جزيء ثلاثي النيتروتولوين (TNT) شديد الانفجار.



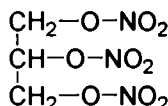
تولوين — *نيتروتولوين* — *ثنائي نيتروتولوين* — *ثلاثي نيتروتولوين (TNT)*

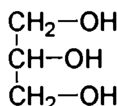
مجموعة النيترو مشار إليها بالأسهم

حدث التقدم في صناعة المتفجرات في القرن التاسع عشر عندما عكف الكيميائيون على دراسة تأثيرات حمض النيتريك في المركبات العضوية. وبعد سنوات قليلة فقط من تدمير فريدريك شونباين لمئزر زوجته بسبب تجاربه، عمل الكيميائي الإيطالي أسكانيو سوبريرو، من تورينو، على إعداد جزيء نيترو آخر شديد الانفجار. كان سوبريرو يدرس تأثيرات حمض النيتريك في المركبات العضوية الأخرى. عمل على تقطير الجلسرول، المعروف أيضًا باسم الجلسرين ويُحصل عليه بسهولة من الدهون الحيوانية، في خليط مبرد من أحماض الكبريتيك والنيتريك ثم سكب الخليط الناتج في الماء. فُصلت طبقة زيتية مما

يُعرف الآن باسم النيتروجليسرين. من خلال إجراء كان طبيعيًا في زمن سوبريرو ولكنه لا يمكن تصوره اليوم، تذوق المركب الجديد وسجل تعليقاته: «يؤدي وضع بعض منه على اللسان من دون ابتلاعه إلى ظهور صداع عنيف مُسببًا ضربات قلب عنيفة، مصحوبة بضعف كبير في الأطراف.»

أظهرت التحقيقات اللاحقة حول الصداع الشديد الذي يعانيه العاملون في صناعة المتفجرات أن هذا الصداع بسبب تمدد الأوعية الدموية الناجم عن التعامل مع النيتروجليسرين. أدى هذا الاكتشاف إلى وصف النيتروجليسرين لعلاج مرض القلب الذبحة الصدرية.



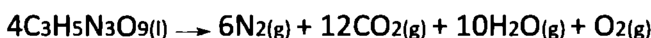


جليسرول (جليسرين)	*نيتروجليسرين*

في حال مرضى الذبحة الصدرية، يسمح توسع الأوعية الدموية التي كانت ضيقة سابقًا وتغذي عضلة القلب بتدفق الدم تدفقًا كافيًا ويخفف آلام الذبحة الصدرية. نعلم الآن أن النيتروجليسرين في الجسم يطلق جزيئًا بسيطًا من أكسيد النيتريك (NO)، وهو المسؤول عن تأثير التمدد. أدت الأبحاث التي أجريت على هذا الجانب من أكسيد النيتريك إلى تطوير عقار الفياجرا المضاد للعجز الجنسي، الذي يعتمد أيضًا على تأثير أكسيد النيتريك في توسيع الأوعية الدموية.

تشمل الأدوار الفسيولوجية الأخرى لأكسيد النيتريك الحفاظ على ضغط الدم، والعمل بوصفه جزيئًا رسولًا يحمل الإشارات بين الخلايا، وإنشاء ذاكرة طويلة المدى، والمساعدة على الهضم. كما تطورت أدوية لعلاج ارتفاع ضغط الدم عند الأطفال حديثي الولادة وعلاج ضحايا الصدمة من خلال هذه الأبحاث. منحت جائزة نوبل في الطب لعام 1998 إلى روبرت فورشجوت، ولويس إجنارو، وفريد مراد لاكتشافهم الدور الذي يلعبه أكسيد النيتريك في الجسم. ومع ذلك، في واحدة من المفارقات العجيبة في الكيمياء، رفض ألفريد نوبل، الذي ستستخدم ثروته المجنية من النيتروجليسرين في إعداد جوائز نوبل، علاج النيتروجليسرين شخصيًا لآلام الصدر الناجمة عن مرض القلب. لم يكن يعتقد أن ذلك سينجح، بل فقط سيسبب الصداع.

النيتروجليسرين هو جزيء غير مستقر إلى حد كبير، وينفجر عند تسخينه أو ضربه بمطرقة. ينتج عن التفاعل الانفجاري التالي



$$4C_3H_5N_3O_{9(l)} \rightarrow 6N_{2(g)} + 12CO_{2(g)} + 10H_2O_{(g)} + O_{2(g)}$$

نتروجليسرين نيتروجين كربون ماء اكسجين

سُحب من الغازات سريعة التمدد وكميات هائلة من الحرارة. وعلى النقيض من البارود الذي ينتج ستة آلاف ضغط جوي في جزء من ألف من الثانية، تنتج كمية مساوية من النيتروجليسرين 270 ألف ضغط جوي في جزء من مليون من الثانية. البارود آمن نسبيًا في التعامل معه، لكن النيتروجليسرين لا يمكن التنبؤ به بنسبة كبيرة ويمكن أن ينفجر تلقائيًا بسبب تعرضه لصدمة أو التسخين. دعت

حاجة إلى الوصول إلى طريقة آمنة وموثوقة للتعامل مع هذه المادة المتفجرة وإطلاقها أو «تفجيرها».

فكرة نوبل عن الديناميت

خطر ببال ألفريد برنارد نوبل، المولود في عام 1833 في ستوكهولم، فكرة الاستفادة من -بدلًا من صمامة الإشعال التي تتسبب في احتراق النيتروجليسرين ببطء- انفجار كمية ضئيلة من البارود لصنع انفجار أكبر من النيتروجليسرين. كانت فكرة عظيمة؛ نجح الأمر، ولا يزال هذا المفهوم مستخدمًا حتى اليوم في الكثير من التفجيرات الخاضعة للرقابة وهو روتيني في صناعات التعدين والبناء. ومع ذلك، بعد أن حل مشكلة إنتاج الانفجار المرغوب، ظل نوبل يواجه مشكلة منع حدوث انفجار غير مرغوب فيه.

لدى عائلة نوبل مصنع لتصنيع المتفجرات وبيعها، همَّ بحلول عام 1864 في تصنيع النيتروجليسرين ليُستخدم في التطبيقات التجارية مثل تفجير الأنفاق والمناجم. وفي سبتمبر من ذلك العام، انفجر أحد مختبراتهم في ستوكهولم، مما أسفر عن مقتل خمسة أشخاص، بما في ذلك إميل، شقيق ألفريد نوبل الأصغر. على الرغم من أن سبب الحادث لم يُحدد بدقة، فإن مسؤولي ستوكهولم حظروا إنتاج النيتروجليسرين. لم يردع نوبل أحد، فبنى مختبرًا جديدًا على طوافات وثبته في بحيرة مالارين، خارج حدود مدينة ستوكهولم مباشرةً. وتزايد الطلب على النيتروجليسرين بسرعة بعد أن أصبحت مزاياه مقارنة بالبارود الأقل قوة معروفة. بحلول عام 1868، افتتح نوبل مصانع للتصنيع

في إحدى عشرة دولة في أوروبا، بل وتوسع متجهًا إلى الولايات المتحدة من خلال إنشاء شركة في سان فرانسيسكو.

غالبًا ما يُلون النيتروجليسرين بالحمض المستخدم في عملية التصنيع ويميل إلى التحلل ببطء. ومن شأن الغازات الناتجة عن هذا التحلل أن تفرقع سدادات علب الزنك التي عبئت فيها المتفجرات للشحن. كما أن الحمض الموجود في النيتروجليسرين غير النقي من شأنه أن يؤدي إلى تآكل الزنك، مما يتسبب في تسرب العلب. استخدمتْ مواد التعبئة مثل نشارة الخشب لعزل العلب وامتصاص أي تسرب أو انسكابات، ولكن هذه الاحتياطات لم تكن كافية وليست ذا نفعٍ إلا قليلًا لتعزيز السلامة. وكثيرًا ما أدى الجهل والتضليل إلى وقوع حوادث فظيعة. وشاع سوء التعامل مع المواد. في إحدى الحالات، استُخدم زيت النيتروجليسرين على أنه مادة تشحيم لعجلات عربة نقل المتفجرات، مما أدى إلى نتائج كارثية بلا شك. في عام 1866، انفجرت شحنة من النيتروجليسرين في مستودع ويلز فارجو في سان فرانسيسكو، مما أسفر عن مقتل أربعة عشر شخصًا. وفي العام نفسه انفجرت الباخرة *إس إس يوروبيان* التي تبلغ حمولتها سبعة عشر ألف طن في أثناء تفريغ حمولتها من النيتروجليسرين على ساحل بنما الأطلنطي، مما أسفر عن مقتل سبعة وأربعين شخصًا وتسبب في أضرار تزيد عن مليون دولار. في عام 1866 أيضًا، دمرت انفجارات مصانع النيتروجليسرين في ألمانيا والنرويج. أصبحت السلطات في جميع أنحاء العالم قلقة. حظرت فرنسا وبلجيكا النيتروجليسرين، واقترحت إجراءات مماثلة في بلدان

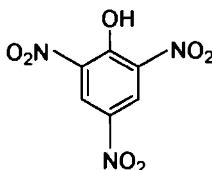
أخرى، على الرغم من الطلب العالمي المتزايد على استخدام هذه المادة المتفجرة القوية على نحوٍ لا يُصدَّق.

تحسس نوبل طريقه للبحث عن طرق للحفاظ على استقرار النيتروجليسرين من دون أن يفقد قوته. بدا التصلب طريقة ماثلة للعيان، لذلك قام بالتجربة عن طريق خلط النيتروجليسرين السائل الزيتي مع مواد صلبة متعادلة مثل نشارة الخشب، والأسمنت، ومسحوق الفحم. أثيرت دائمًا تكهنات حول ما إذا كان المنتج الذي نعرفه الآن باسم «الديناميت» كان نتيجة تحقيق منهجي، كما ادعى نوبل، أو أنه لا يزيد عن أنه اكتشاف بمحض صدفة. حتى لو أنَّ هذا الاكتشاف جاء عن طريق المصادفة، فإن نوبل كان ذكيًّا ذكاءً لامعًا ليدرك أن مادة كيسيلجور، وهي مادة سيليسية طبيعية دقيقة حلت أحيانًا محل مادة تعبئة نشارة الخشب، يمكنها امتصاص النيتروجليسرين السائل المسكوب ولكنها تظل مسامية. ومادة كيسيلجور، المعروفة أيضًا باسم التراب الدياتومي، هي بقايا حيوانات بحرية صغيرة ولها عدد من الاستخدامات الأخرى: تعمل بصفتها مرشحًا في مصافي السكر، وعازلًا، وملمّعًا للمعادن. أظهر المزيد من الاختبارات أن خلط النيتروجليسرين السائل مع حوالي ثلث وزنه من كيسيلجور يكوِّن كتلة بلاستيكية في قوام المعجون. عملت مادة كيسيلجور على تخفيف النيتروجليسرين. أدى فصل جزيئات النيتروجلسرين إلى إبطاء معدل تحللها. ويمكن الآن السيطرة على التأثير الانفجاري.

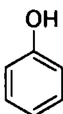
أطلق نوبل على خليط النيتروجليسرين/ كيسيلجور اسم الديناميت، وهو مشتق من الكلمة اليونانية *ديناميس* أو القوة. يمكن تشكيل الديناميت بأي شكل أو حجم حسب الرغبة، وهو ليس عرضة للتحلل بسهولة، ولا ينفجر بسبب حادث عارض. بحلول عام 1867، شرعت شركة نوبل وشركاه، كما تسمى الآن شركة العائلة، في شحن الديناميت، الذي سُجِّل براءة اختراعه حديثًا باسم مسحوق نوبل للسلامة. وسرعان ما ظهرت مصانع نوبل للديناميت في جميع أنحاء العالم، وتحققت ثروة عائلة نوبل.

لعل وصف ألفريد نوبل، صانع الذخائر، على أنه من دعاة السلام، يبدو تناقضًا، لكن حياة نوبل بأكملها مليئة بالتناقضات. ففي طفولته، عاش مريضًا ولم يكن من المتوقع أن يعيش حتى سن البلوغ، لكنه عاش أكثر من والديه وإخوته. وُصفَ بعبارات متناقضة إلى حد ما على أنه خجول، ومراعٍ إلى حد كبير إلى الآخرين، ومهووس بعمله، وشديد الريبة، ووحيد، ومبالغ في إحسانه. اعتقد نوبل اعتقادًا راسخًا أن اختراع سلاح رهيب حقًا قد يكون رادعًا يُمكن أن يجلب السلام الدائم للعالم، وهو أمل لم يتحقق بعد حتى بعد مرور أكثر من قرن من الزمان ومع وجود عدد من الأسلحة الرهيبة حقًا المتاحة الآن. توفي في عام 1896، وهو يعمل بمفرده في مكتبه في منزله في سان ريمو بإيطاليا. تُركت ممتلكاته النفيسة لتقديم جوائز سنوية للأبحاث التي تتم في الكيمياء والفيزياء والطب والأدب والسلام. وفي عام 1968، أنشأ بنك السويد، تخليدًا لذكرى ألفريد نوبل، جائزة في مجال الاقتصاد. على الرغم من أنها تسمى الآن جائزة نوبل، فهي لم تكن جزءًا من الوقف الأصلي.

لا يمكن استخدام اختراع نوبل مادة متفجِّرة لدفع القذائف، لأن البنادق لا يمكنها تحمل القوة الانفجارية الهائلة للديناميت. استمرت حاجة القادة العسكريين إلى مادة متفجرة أقوى من البارود، مادة لا تنتج سحابات من الدخان الأسود، وآمنة في التعامل معها، وتسمح بالتحميل السريع. منذ أوائل ثمانينيات القرن التاسع عشر، استخدمت صيغ مختلفة من النيتروسليلوز (قطن البارود)، أو النيتروسليلوز الممزوج بالنيتروجليسرين كـ«مسحوق عديم الدخان» ولا يزال حتى اليوم أساسًا لمتفجرات الأسلحة النارية. لا تتقيد المدافع والمدفعية الثقيلة الأخرى باختيار المادة المتفجرة لدفع القذائف. بحلول الحرب العالمية الأولى، كانت الذخائر تحتوي بشكل أساسي على حمض البكريك وثلاثي نيتروتولوين. حمض البكريك، وهو مادة صلبة صفراء زاهية صُنعتْ لأول مرة في عام 1771، استُخدم أساسًا صبغة صناعية للحرير والصوف. وهو جزيء ثلاثي نيترو الفينول وسهل الصنع نسبيًّا.



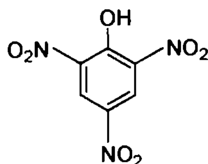
ثلاثي نيتروفينول أو حمض البكريك



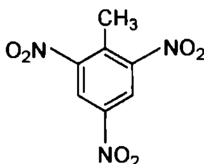
فينول

في عام 1871، وجد أن حمض البكريك يمكن أن ينفجر إذا استُخدم مفجر قوي بما فيه الكفاية. استُخدم لأول مرة في القذائف على يد الفرنسيين في عام 1885، ثم على البريطانيين خلال حرب البوير 1899–1902. ومع ذلك، صَعُبَ تفجير حمض البكريك المبتل، مما أدى إلى حدوث خلل في التفجير تحت ظل الظروف الممطرة أو الرطبة. كما أنه حمضي ويتفاعل مع المعادن لتشكل «بيكرات» حساسة للصدمات. تسببت حساسية الصدمات هذه في انفجار القذائف عند ملامستها، مما منعها من اختراق الصفائح المدرعة السميكة.

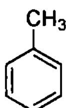
يشبه ثلاثي نيتروتولوين كيميائيًا حمض البكريك، وهو معروف باسم التي إن تي من البادئات ثلاثي ونيترو وتولوين، وكان أكثر ملاءمة للذخائر.



حمض البكريك



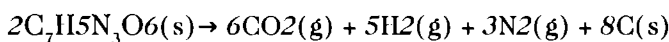
ثلاثي نيتروتولوين



تولوين

لم يكن حمضيًا، ولم يتأثر بالرطوبة، وله نقطة انصهار منخفضة نسبيًّا بحيث يمكن صهره بسهولة وصبه في القنابل والقذائف. نظرًا إلى أنه أصعب في التفجير من حمض البكريك، فقد يكون له تأثير أكبر وبالتالي يتمتع بقدرة أفضل على اختراق الدروع. تحتوي مادة التي إن تي على نسبة أكسجين إلى كربون أقل من النيتروجليسرين، لذلك لا

يتحول الكربون فيه تحولًا كاملًا إلى ثاني أكسيد الكربون ولا يتحول الهيدروجين إلى ماء. يمكن تمثيل رد الفعل على النحو التالي:



$$2C_7H5N_3O6(s) \rightarrow 6CO2(g) + 5H2(g) + 3N2(g) + 8C(s)$$

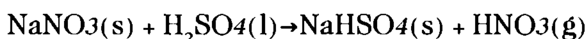
كربون　　نيتروجين　　هيدروجين　　ثاني أكسيد الكربون　　مادة التي إن تي

يتسبب الكربون الناتج في هذا التفاعل في ظهور كمية كبيرة من الدخان المصاحب لانفجارات مادة التي إن تي مقارنة بانفجارات النيتروجليسرين وبارود القطن.

في بداية الحرب العالمية الأولى، كانت ألمانيا، التي تستخدم الذخائر التي تحتوي على مادة التي إن تي، تتفوق بمزية واضحة على الفرنسيين والبريطانيين، الذين استمروا في استخدام حمض البكريك حتى ذلك الوقت. سمح برنامج مكثف لبدء إنتاج مادة التي إن تي، بالاعتماد على كميات كبيرة شُحنت من مصانع التصنيع في الولايات المتحدة، لبريطانيا بتطوير قذائف وقنابل ذات جودة مماثلة تحتوي على هذا الجزيء المحوري. يوجد جزيء آخر، وهو الأمونيا (NH3)، وقد أصبح أكثر أهمية خلال الحرب العالمية الأولى. على الرغم من أن الأمونيا ليست مركبًا نيتروِيًّا، فهي المادة الأولية لصنع حمض النتريك (HNO3)، اللازم لصنع المتفجرات. على الأرجح كان حمض النيتريك معروفًا منذ فترة طويلة. فجابر بن حيان، الكيميائي الإسلامي العظيم الذي عاش حوالي عام 800 ميلادي، قد عرف عن حمض النيتريك وربما صنعه عن طريق تسخين الملح الصخري (نترات البوتاسيوم) مع كبريتات الحديدوز (التي كانت تسمى آنذاك

الزاج الأخضر بسبب بلوراتها الخضراء). غُلِيَ الغاز الناتج عن هذا التفاعل، ثاني أكسيد النيتروجين (NO2)، في الماء لتكوين محلول مخفف من حمض النيتريك.

لا يشيع وجود النترات في صورة طبيعية، لأنها شديدة الذوبان في الماء ويسهل إذابتها، ولكن في الصحاري القاحلة شديدة الجفاف في شمال تشيلي، استُخرجت رواسب ضخمة من نترات الصوديوم (ما يسمى بالملح الصخري في تشيلي) خلال العامين الماضيين على أنَّها مصدر للنترات للتحضير المباشر لحمض النيتريك. تُسخن نترات الصوديوم مع حامض الكبريتيك. يُطرد حمض النيتريك الناتج لأن نقطة غليانه أقل من حمض الكبريتيك. ثم يُكثف ويُجمع في أوعية التبريد.



$$NaNO_3(s) + H_2SO_4(l) \rightarrow NaHSO_4(s) + HNO_3(g)$$

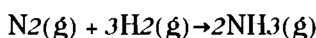
حمض النيتريك   كبريتات الصوديوم   حمض الكبريتات   نترات الصوديوم

خلال الحرب العالمية الأولى، انقطعت إمدادات الملح الصخري من تشيلي إلى ألمانيا بسبب الحصار البحري البريطاني. كانت النترات مواد كيميائية إستراتيجية وضرورية لتصنيع المتفجرات، لذلك اضطرت ألمانيا إلى العثور على مصدر آخر.

في حين أن النترات قد لا تكون وفيرة، فإن العنصرين، النيتروجين والأكسجين، اللذين يشكلان النترات موجودان في العالم بكميات كبيرة. يتكون غلافنا الجوي من غاز الأكسجين بنسبة ٪20 تقريبًا و٪80 من غاز النيتروجين. الأكسجين (O2) يتفاعل كيميائيًّا، ويتحد بسهولة مع الكثير من العناصر الأخرى، ولكن جزيء

النيتروجين (N2) خامل نسبيًّا. في بداية القرن العشرين، أمَّا طرق «تثبيت» النيتروجين -أي إزالته من الغلاف الجوي عن طريق الاتحاد الكيميائي مع عناصر أخرى- فعُرفت حينها ولكنها لم تكن بالغة التطور.

لبعض الوقت، ظلَّ الكيميائي الألماني فريتز هابر، يعمل على عملية لدمج النيتروجين من الهواء مع غاز الهيدروجين لتكوين الأمونيا.



نشادر هيدروجين نيتروجين

استطاع هابر حل مشكلة استخدام النيتروجين الجوي الخامل من خلال العمل في ظروف التفاعل التي أنتجت أعلى كمية من الأمونيا بأقل تكلفة ممكنة: الضغط العالي، ودرجات الحرارة حوالي 400 إلى 500 درجة مئوية، وإزالة الأمونيا في أقرب وقت ممكن. الجزء الكبير من عمل هابر هو الوصول إلى محفز لزيادة معدل هذا التفاعل البطيء على نحوٍ خاص. هدفت تجاربه إلى إنتاج الأمونيا لصناعة الأسمدة. وفي ذلك الوقت توافرت ثلثا احتياجات العالم من الأسمدة من رواسب الملح الصخري في تشيلي؛ ومع استنفاد هذه الرواسب، دعت الحاجة إلى الوصول إلى طريق لإنتاج الأمونيا اصطناعيًا. بحلول عام 1913، أنشئ أول مصنع للأمونيا الاصطناعية في العالم في ألمانيا، وعندما قطع الحصار البريطاني فيما بعد إمدادات النترات من تشيلي، توسعت عملية هابر، كما هي معروفة، بسرعة لتشمل مصانع أخرى لتزويد الأمونيا، ليس فقط لتصنيع الأمونيا لتستخدم في الأسمدة

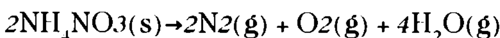
ولكن أيضًا للذخائر والمتفجرات. تتفاعل الأمونيا الناتجة بهذه الطريقة مع الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد النيتروجين، وهو سليفة حمض النيتريك. أمَّا ألمانيا، فمع استخدام الأمونيا للأسمدة وحمض النيتريك لصنع مركبات النيترو المتفجرة، لم يعد الحصار البريطاني ذا أهمية. أصبح تثبيت النيتروجين عاملًا حيويًّا في شن الحرب.

مُنحت جائزة نوبل في الكيمياء لعام 1918 لفريتز هابر لدوره في بنية الأمونيا، مما أدى في النهاية إلى زيادة إنتاج الأسمدة وما ترتب على ذلك من زيادة قدرة الزراعة على إطعام سكان العالم. أثار الإعلان عن هذه الجائزة عاصفة من الاحتجاجات بسبب الدور الذي لعبه فريتز هابر في برنامج حرب الغاز الألماني في الحرب العالمية الأولى. في أبريل 1915، أُطلقت أسطوانات من غاز الكلور على جبهة ثلاثة أميال بالقرب من إبرس، بلجيكا. قُتل خمسة آلاف رجل وعانى عشرة آلاف آخرين آثارًا مدمرة في رئتيهم بسبب تعرضهم للكلور. تحت قيادة هابر لبرنامج حرب الغاز، اختُبر عدد من المواد الجديدة واستخدمت، بما في ذلك غاز الخردل والفوسجين. في نهاية المطاف، لم تكن حرب الغاز هي العامل الحاسم في نتيجة الحرب، ولكن في نظر الكثير من أقران هابر، فإن ابتكاره العظيم السابق -وهو أمر بالغ الأهمية للزراعة على مستوى العالم- لم يعوض عن النتيجة المروعة المتمثلة في تعرض الآلاف للغازات السامة. رأى كثير من العلماء منح جائزة نوبل لهابر في ظل هذه الظروف مجرد مهزلة.

رأى هابر اختلافًا بسيطًا بين الحرب التقليدية وحرب الغاز وكان منزعجًا أيما انزعاج من هذا الجدل. وفي عام 1933، بصفته

مديرًا لمعهد القيصر فيلهلم المرموق للكيمياء الفيزيائية والكيمياء الكهربائية، أمرته الحكومة النازية في ألمانيا بطرد جميع العمال اليهود العاملين لديه. وفي عمل شجاع غير معتاد في تلك الأوقات، رفض هابر، مشيرًا في خطاب استقالته إلى أنه «على مدى أكثر من أربعين عامًا اخترت المتعاونين معي على أساس ذكائهم وشخصياتهم، وليس على أساس جداتهم. ولست على استعداد لبقية حياتي لتغيير هذه الطريقة التي وجدتها نافعة.»

اليوم، يبلغ الإنتاج السنوي من الأمونيا في جميع أنحاء العالم، وهي لا تزال تُصنع من خلال عملية هابر، حوالي 140 مليون طن، ويستخدم الكثير منها في إنتاج نترات الأمونيوم (NH_4NO3)، وهي أهم الأسمدة في العالم غالبًا. تستخدم نترات الأمونيوم أيضًا في تفجير المناجم، في صورة خليط مكون من 95 بالمائة من نترات الأمونيوم و5 بالمائة من زيت الوقود. ينتج عن التفاعل المتفجر غاز الأكسجين بالإضافة إلى النيتروجين والبخار. ويعمل غاز الأكسجين على أكسدة زيت الوقود الموجود في الخليط، مما يزيد من الطاقة المنطلقة من الانفجار.



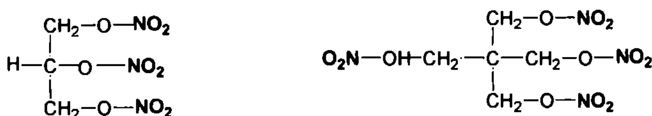
$$2NH_4NO3(s) \rightarrow 2N2(g) + O2(g) + 4H_2O(g)$$

نترات الأمونيا *نيتروجين* *أكسجين* *ماء*

نترات الأمونيوم مادة متفجرة آمنة إلى حدٍ كبير عند التعامل معها تعاملًا صحيحًا، ولكنها كانت مسؤولة عن عدد من الكوارث نتيجة لإجراءات السلامة غير السليمة أو التفجيرات المتعمدة على يد المنظمات الإرهابية. في عام 1947، في ميناء تكساس سيتي في ولاية

تكساس، اندلع حريق في جوف سفينة في أثناء شحنها بأكياس ورقية من سماد نترات الأمونيوم. وفي محاولة لوقف الحريق، أغلق طاقم السفينة البوابات، مما كان له تأثير مؤسف في تهيئة ظروف الحرارة والضغط اللازمين لتفجير نترات الأمونيوم. قتل أكثر من خمسمائة شخص في الانفجار الذي أعقب ذلك. وتشمل الكوارث الأحدث بسبب قنابل نترات الأمونيوم التي زرعها الإرهابيون الحوادث التي وقعت في مركز التجارة العالمي في مدينة نيويورك في عام 1993 وفي مبنى ألفريد بي مورا الفيدرالي في مدينة أوكلاهوما في عام 1995.

ومن المؤسف أيضًا أن إحدى المتفجرات التي تطورت حديثًا، وهي بنتاريريثريتول رباعي النترات (تُعرف اختصارًا بـ PETN)، يفضلها الإرهابيون أيضًا بسبب الخصائص نفسها التي جعلتها ذات فائدة عظيمة للأغراض المشروعة. يمكن خلط هذه المادة مع المطاط لصنع ما يسمى بالمتفجرات البلاستيكية، التي يمكن ضغطها بأي صورة. قد يكون لهذه المادة اسم كيميائي معقد، لكن صيغتها البنائية ليست بهذا التعقيد. وهو مشابه كيميائيًّا للنيتروجليسرين ولكنه يحتوي على خمس ذرات كربون بدلاً من ثلاث ومجموعة نيترو واحدة أخرى.



نيتروجليسرين (عن اليسار) وبنتاريريثريتول رباعي النترات (PETN) (عن اليمين)

وُضحت مجموعة النترو بخط سميك

من السهل تفجيرها، وحساسة للصدمات، وبالغة القوة، وذات رائحة قليلة بحيث يصعب اكتشافها حتى مع الاستعانة بالكلاب المدربة، لذا ربما أصبحت مادة PETN المادة المتفجرة المفضلة لتفجيرات الطائرات. اكتسبت شهرة بصفتها أحد مكونات القنبلة التي أسقطت رحلة بان أمريكان رقم 103 فوق لوكيربي، في أسكوتلندا، في عام 1988. كما ساءت سمعتها أيضًا بسبب حادثة «شو بومبر» في عام 2001، التي حاول فيها أحد الركاب على متن رحلة تابعة لشركة الخطوط الجوية الأمريكية قادمة من باريس تفجيره مادة PETN المخبأة في نعل حذائه الرياضي. تجنبوا وقوع الكارثة فقط بفضل التحرك السريع من الطاقم والركاب.

لم يقتصر دور جزيئات النيترو المتفجرة على الحروب والإرهاب. توجد أدلة على أن قوة خليط الملح الصخري والكبريت والفحم استُخدمت في التعدين في شمال أوروبا بحلول أوائل القرن السابع عشر. نفق مالباس (1679) التابع لقناة دو ميدي في فرنسا، القناة الأصلية التي تربط المحيط الأطلنطي بالبحر الأبيض المتوسط، هو أول نفق قناة من بين الكثير من أنفاق القنوات الرئيسة التي بنيت باستخدام البارود. كما جاء بناء نفق مونت سينيس أو فريجوس للسكك الحديدية في الفترة من 1857 إلى 1871، عبر جبال الألب الفرنسية، بصفته أكبر استخدام للجزيئات المتفجرة في ذلك الوقت، مما أدى إلى تغيير وجه السفر في أوروبا لسهولة المرور من فرنسا إلى إيطاليا. استُخدم النيتروجليسرين المتفجر الجديد لأول مرة في بناء نفق هوساك للسكك الحديدية (1855-1866) في شمال آدامز في

ماساتشوستس. تمت إنجازات هندسية كبرى بمساعدة الديناميت: مثل الانتهاء من بناء خط السكة الحديد الكندي في المحيط الهادئ في عام 1885، مما سمح بالمرور عبر جبال روكي الكندية؛ وقناة بنما التي يبلغ طولها ثمانين كيلومترًا، التي افتتحت في عام 1914؛ وإزالة الأخطار الملاحية ريبل روك عام 1958 قبالة الساحل الغربي لأمريكا الشمالية، وهو لا يزال أكبر انفجار غير نووي على الإطلاق.

في عام 218 قبل الميلاد، شق القائد القرطاجي هانيبال، طريقه عبر جبال الألب بجيشه الضخم وأربعين فيلة لشن هجوم على قلب الإمبراطورية الرومانية. استخدم طريقة تقليدية لبناء الطرق ولكنها غاية في البطء في ذلك الوقت: من خلال تسخين العوائق الصخرية باستعمال النيران، ثم صب الماء البارد عليها لتشققها. لو كان هانيبال يمتلك متفجرات، لتمكن من المرور السريع عبر جبال الألب ولربما سمح له بانتصار ساحق في روما، ولصار مصير غرب البحر الأبيض المتوسط بأكمله مختلفًا تمامًا.

من هزيمة فاسكو دا جاما إلى حكام كاليكوت، مرورًا بغزو إمبراطورية الأزتك على يد هيرنان كورتيس وحفنة من الغزاة الإسبان، إلى لواء الفرسان الخفيف التابع للجيش البريطاني الذي يشحن البطاريات الميدانية الروسية في معركة بالاكلافا في عام 1854، كانت للأسلحة المتفجرة ذات الدفع الصاروخي أفضلية على الأقواس والسهام والرماح والسيوف. اعتمدت الإمبريالية والاستعمار -النظامان اللذان شكلا عالمنا- على قوة الأسلحة. في الحرب وفي السلم، من التدمير إلى البناء، للأسوأ أو للأفضل، غيرت الجزيئات المتفجرة الحضارة.

الفصل السادس

الحرير والنايلون

لعل الجزيئات المتفجرة تبدو للقارئ بعيدة تمام البعد عن صور الفخامة والنعومة والليونة واللمعان التي تستحضرها كلمة الحرير. لكن بين المتفجرات والحرير علاقة كيميائية، وهي العلاقة التي أدت إلى تطوير مواد جديدة، ومنسوجات جديدة، وبحلول القرن العشرين، ظهرت صناعة جديدة تمامًا.

لطالما حظي الحرير دائمًا بموضع تقدير بصفته نسيجًا للأثرياء. حتى مع وجود خيارات واسعة من الألياف الطبيعية والصناعية المتاحة اليوم، لا يزال يُرى على أنه غير قابل للاستبدال. خصائص الحرير التي جعلته مرغوبًا لفترة طويلة -ملمسه اللطيف، والدف الذي يوفره في الجوِّ البارد وبرودته في الجو الحار، وبريقه الرائع، وحقيقة أنه يمتص الأصباغ بصورة جميلة- ترجع إلى بنيته الكيميائية. وفي نهاية المطاف، فالصيغة البنائية لهذه المادة الرائعة هي التي فتحت طرق التجارة بين الشرق وبقية العالم المعروف.

انتشار الحرير

يعود تاريخ الحرير إلى أكثر من أربعة آلاف ونصف سنة. تقول الأسطورة إنه في حوالي عام 2640 قبل الميلاد، وجدت الأميرة هسي لينج شيه، المحظية الرئيسة للإمبراطور الصيني هوانج تي، أنه يمكن فك خيط دقيق من الحرير من شرنقة حشرة سقطت في الشاي الذي كانت تشربه. وسواء هذه القصة أسطورة أم لا، فصحيح أن إنتاج الحرير بدأ في الصين بزراعة دودة القز *بوميكس موري*، وهي دودة رمادية صغيرة لا تتغذى إلَّا على أوراق شجرة التوت *موريس ألبا*.

كما يشيع في الصين، فإن عثة دودة القز تضع ما يصل إلى خمسمائة بيضة على مدى خمسة أيام ثم تموت. الجرام الواحد من هذا البيض ضئيل الحجم يُنتج أكثر من ألف دودة قز، وجميعها يلتهم ما يصل إلى ستة وثلاثين كيلوجرامًا من أوراق التوت الناضجة لإنتاج تقريبًا مائتي جرام من الحرير الخام. يجب حفظ البيض في البداية عند درجة حرارة 65 درجة فهرنهايت، ثم ترتفع تدريجيًّا إلى درجة حرارة الفقس التي تبلغ 77 درجة فهرنهايت. تُحفظ الديدان في صواني نظيفة وجيدة التهوية، حيث تأكل بشراهة وتتخلص من جلودها عدة مرات. وبعد مرور شهر، تُنقل إلى صواني أو إطارات الغزل لبدء غزل شرانقها، وهي عملية تستغرق عدة أيام. يُستخرج خيط واحد متصل من خيط الحرير من فك الدودة، بالإضافة إلى إفراز لزج يربط الخيوط معًا. تحرك الدودة رأسها باستمرار في حركة على شكل الرقم ثمانية، تغزل خيوط شرنقة كثيفة وتدريجيًّا تُكوِّن جلد العذارى.

للحصول على الحرير، تُسخَّن الشرانق لقتل جلد العذارى بداخلها، ثم تُغمر في الماء المغلي لإذابة الإفراز اللزج الذي يربط الخيوط معًا. تُفك بعد ذلك خيوط الحرير الخالص من الشرنقة ثم تُلف على بكرات. يمكن أن يتراوح طول خيط الحرير من شرنقة واحدة من أربعمائة إلى أكثر من ثلاثة آلاف ياردة.

انتشرت زراعة دودة القز واستخدام الأقمشة الحريرية الناتجة انتشارًا سريعًا في جميع أنحاء الصين. في البداية، كان الحرير مخصصًا لأفراد العائلة الإمبراطورية والنبلاء. وفي وقت لاحق، على الرغم من أن سعره ظل مرتفعًا، سُمح حتى لعامة الناس بارتداء الملابس المصنوعة من الحرير. صار النسيج الحريري المنسوج نسجًا جميلًا، والمطرز تطريزًا كثيفًا، والمصبوغ على نحوٍ رائع، ذا قيمة كبيرة. كان سلعة ذات قيمة عالية في حركة التجارة والمقايضة وحتى إنه كان شكلًا من أشكال العملة، وذلك لأن المكافآت والضرائب دُفِعت أحيانًا بالحرير.

لعدة قرون، بعد فترة طويلة من افتتاح طرق التجارة عبر آسيا الوسطى المعروفة معًا باسم طريق الحرير، أبقى الصينيون تفاصيل إنتاج الحرير سرًّا. اختلف مسار طريق الحرير على مر القرون، ويعتمد في الغالب على السياسة والسلامة في الأقاليم على طول الطريق. أطول مسار له بلغ ما يصل إلى ستة آلاف ميل من بكين (بيجين) في شرق الصين، إلى بيزنطة (عُرفت باسم القسطنطينية لاحقًا، وتُعرف باسم إسطنبول الآن) في تركيا الحالية، وإلى أنطاكية ومدينة صور على البحر الأبيض المتوسط، مع تحويل الشرايين الرئيسة للطريق إلى شمال

الهند. يعود تاريخ بعض أجزاء طريق الحرير إلى أكثر من أربعة آلاف ونصف عام.

انتشرت تجارة الحرير ببطء، ولكن بحلول القرن الأول قبل الميلاد، ظلت الشحنات المنتظمة من الحرير تصل إلى الغرب. بدأت تربية دودة القز في اليابان حوالي عام 200 بعد الميلاد وتطورت على نحوٍ مستقل عن بقية العالم. وسرعان ما أصبح الفُرس وسطاء في تجارة الحرير. ولكي يُحافظ الصينيون على احتكارهم للإنتاج، أتوا بمحاولات تهريب دودة القز أو بيض دودة القز أو بذور التوت الأبيض من الصين، وهي محاولات يُعاقب عليها بالإعدام. ولكن كما تقول الأسطورة، في عام 552، تمكن اثنان من رهبان الكنيسة النسطورية من العودة من الصين إلى القسطنطينية ومعهما قصب مجوف يخفي بيض دودة القز وبذور التوت. هذا فتح الباب أمام إنتاج الحرير في الغرب. إذا كانت القصة صحيحة، فمن المحتمل أن تكون أول مثال مسجل للتجسس الصناعي.

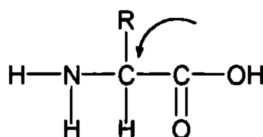
انتشرت تربية دودة القز في جميع أنحاء البحر الأبيض المتوسط، وبحلول القرن الرابع عشر تحولت إلى صناعة مزدهرة في إيطاليا، وبخاصة في الشمال، حيث أصبحت مدن مثل البندقية ولوكّا وفلورنسا مشهورة بالأقمشة الحريرية الثقيلة الجميلة والمخمل الحريري. يُنظر إلى صادرات الحرير من هذه المناطق إلى شمال أوروبا على أنَّها إحدى القواعد المالية لحركة النهضة التي بدأت في إيطاليا في هذا الوقت تقريبًا. ساعد نساجو الحرير الذين فروا من عدم الاستقرار السياسي في إيطاليا، فرنسا على أن تصبح ذات قوِّة في

صناعة الحرير. في عام 1466، منح لويس الحادي عشر إعفاءات ضريبية لنساجي الحرير في مدينة ليون، وأصدر مرسومًا بزراعة أشجار التوت، وأمر بتصنيع الحرير للبلاط الملكي. على مدى القرون الخمسة القادمة، ستتركز تربية دودة القز الأوروبية بالقرب من ليون والمنطقة المحيطة بها. أصبحت ماكليسفيلد وسبيتالفيلد، في إنجلترا، مركزين رئيسيين للحرير المنسوج بدقة عندما يصل النساجون الفلمنكيون والفرنسيون، هربًا من الاضطهاد الديني في القارة، في أواخر القرن السادس عشر.

لم تُكلل المحاولات المختلفة لزراعة الحرير في أمريكا الشمالية بالنجاح على المستوى التجاريّ. ولكن تطوّر عملية الغزل والنسيج للحرير، وهي العمليات التي يمكن ميكنتها بسهولة. في أوائل القرن العشرين، كانت الولايات المتحدة واحدة من أكبر الشركات المصنعة للسلع الحريرية في العالم.

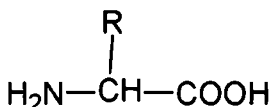
كيمياء اللمعان والتألق

الحرير، مثل الألياف الحيوانية الأخرى مثل الصوف والشعر، هو بروتين. تتكون البروتينات من اثنين وعشرين حمضًا أمينيًا مختلفًا. تحتوي الصيغة البنائية للحمض الأميني ألفا على مجموعة أمينية (NH2) ومجموعة حمض عضوي (COOH) مرتبة كما هو موضح، مع مجموعة NH2 متصلة بذرة الكربون ألفا، أي الكربون المجاور لمجموعة الكربوكسيل (COOH)



صيغة بنائية غير مفصلة للحمض الأميني ألفا

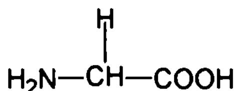
أحيانًا يُرسم بصورة أكثر تيسيرًا وأكثر اختصارًا كما هو موضح:



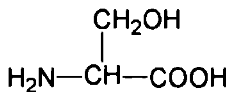
صيغة بنائية مكثفة غير مفصلة لتركيب الحمض الأميني

في هذين الصيغتين البنائيتين يُمثِّل R مجموعة مختلفة، أو مجموعة من الذرات، لكل حمض أميني. يوجد اثنان وعشرون صيغة بنائية للرمز R، وهذا ما يصنع الأحماض الأمينية الاثنين والعشرين. تسمى المجموعة R أحيانًا بالمجموعة الجانبية أو السلسلة الجانبية. الصيغة البنائية لهذه المجموعة الجانبية هي المسؤولة عن الخصائص المميزة للحرير، وفي الواقع عن خصائص أي بروتين.

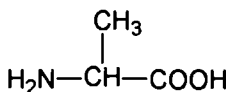
أصغر مجموعة جانبية، والمجموعة الجانبية الوحيدة التي تتكون من ذرة واحدة فقط، هي ذرة الهيدروجين. حيث يُرسم بدل مجموعة R هذه ذرة هيدروجين H، ويُصبح اسم الحمض الأميني هو **جلايسين** صيغته البنائية كما هو موضح على النحو التالي:



من المجموعات الجانبية البسيطة الأخرى هي CH3 وCH_2OH، اللتان تُكوِّنان الحمضين الأمينيين ألانين وسيرين على الترتيب:



سيرين

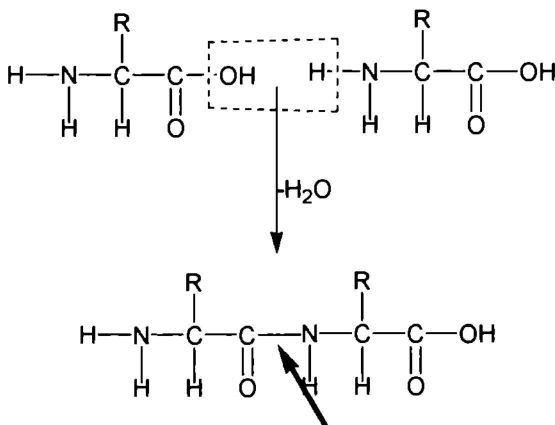


ألانين

تحتوي هذه الأحماض الأمينية الثلاثة على أصغر المجموعات الجانبية بين جميع الأحماض الأمينية، وهي أيضًا أكثر الأحماض الأمينية شيوعًا في الحرير، وتشكل معًا حوالي 85 بالمائة من البنية الإجمالية للحرير. نظرًا إلى أن المجموعات الجانبية في الأحماض الأمينية الحريرية صغيرة جدًّا ماديًّا فهذا عامل مهم في نعومة الحرير. وبالمقارنة، فإن الأحماض الأمينية الأخرى لديها مجموعات جانبية أكبر بكثير وأكثر تعقيدًا.

مثل السليلوز، الحرير ما هو إلَّا بوليمر، جزيء كبير يتكون من وحدات متكررة. ولكن على عكس بوليمر السليلوز في القطن، حيث تكون الوحدات المتكررة متماثلة تمامًا، فإن الوحدات المتكررة من بوليمرات البروتين، والأحماض الأمينية، تختلف إلى حدٍ ما. أجزاء الحمض الأميني التي تشكل سلسلة البوليمر كلها متشابهة. لكن المجموعة الجانبية لكل حمض أميني هي التي تختلف.

يتحد حمضان أمينيان عن طريق إزالة جزيء الماء فيما بينهما، أي إزالة ذرة هيدروجين (H) من مجموعة النيتريت (NH2) أو الطرف الأميني والهيدروكسيل (OH) من COOH أو الطرف الحمضي. الارتباط الناتج بين الأحماض الأمينية هو المعروف باسم مجموعة أميد. تُعرف الرابطة الكيميائية الفعلية بين كربون أحد الأحماض الأمينية ونيتروجين الحمض الأميني الآخر باسم الرابطة الببتيدية.

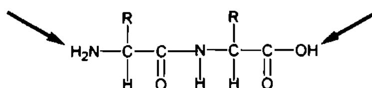


الرابطة الببتيدية

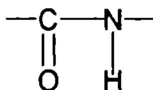
مما لا شك فيه أنَّ في أحد طرفي هذا الجزيء الجديد لا يزال توجد مجموعة هيدروكسيل (OH) يمكن استخدامها لتكوين رابطة ببتيدية أخرى مع حمض أميني آخر، وعلى الطرف الآخر يوجد مجموعة النيتريت NH2 (تُكتب أيضًا H_2N) يمكنها تكوين ببتيد يرتبط بحمض أميني آخر

لتكوين رابط آخر

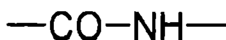
لتكوين رابط آخر



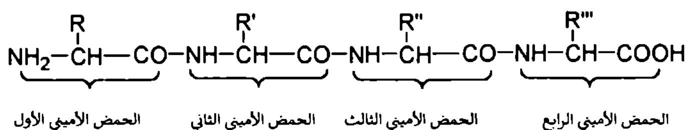
مجموعة الأميد



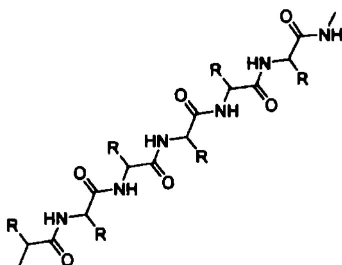
تُوضَّح عادةً بطريقة موفرة للمساحة أكثر.



إذا أضفنا حمضين أمينيين آخرين، يتكون الآن أربعة أحماض أمينية مرتبطة من خلال روابط الأميد

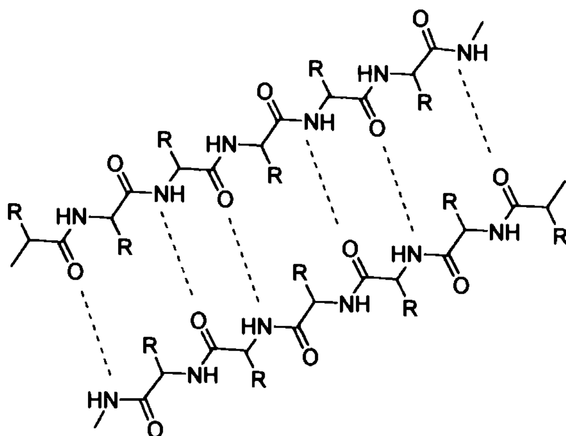


نظرًا إلى وجود أربعة أحماض أمينية، توجد أربع مجموعات جانبية، حُددت في الصيغة البنائية السَّابقة برمز R وR' وR'' وR'''. يمكن أن تكون هذه المجموعات الجانبية جميعها متماثلة، أو يتماثل بعضها، أو أنَّ تصبح جميعها مختلفة. على الرغم من وجود أربعة أحماض أمينية فقط في السلسلة، فمن الممكن إنتاج عدد ضخم من النواتج. يمكن أن تُكوِّن المجموعة R أيًا من اثنين وعشرين حمضًا أمينيًا، كما يمكن أن تُكوِّن المجموعة R' أيًا من الاثنين والعشرين، وكذلك R'' وR'''. هذا يعني أن عدد الاحتمالات هو 22^4 أو 234256 احتمالًا. وحتى البروتين الصغير جدًّا مثل الأنسولين، وهو الهرمون الذي يفرزه البنكرياس وينظم استقلاب الجلوكوز، يحتوي على 51 حمضًا أمينيًا، وبالتالي فإن عدد الصيغ الممكنة للأنسولين يصبح 22^{51} (2.9×10^{68})، أو مليارات المليارات. تشير التقديرات إلى أن 80 إلى 85 بالمائة من الأحماض الأمينية للحرير ما هي إلا تسلسل متكرر من الجلايسين-سيرين-جلايسين-ألانين-جلايسين-ألانين. تحتوي سلسلة بوليمر بروتين الحرير على ترتيب متعرج حيث تتناوب المجموعات الجانبية على كل جانب.



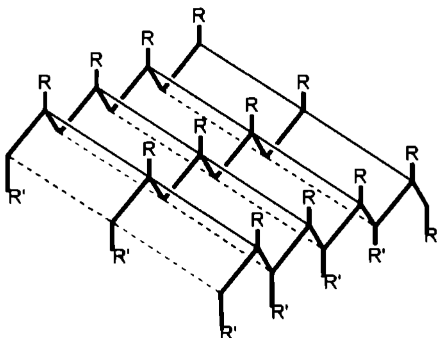
سلسلة بروتين الحرير مرسومة بخط متعرج؛ مجموعات الـR تتناوب على جانبي السلسلة

توجد سلاسل جزيء البروتين هذه بالتوازي مع السلاسل المجاورة، تسير في اتجاهين متعاكسين. ترتبط معًا من خلال التجاذب المتبادل بين الخيوط الجزيئية، كما هو موضح بالخطوط المنقطة فيما يلي.



التجاذب بين جانبي سلاسل البروتين لضم جزيئات الحرير معًا.

ينتج عن هذا بنية صحيفة مطوية، حيث تُحدد مجموعات R المُستبدلة على طول سلسلة البروتين إما إلى أعلى أو إلى أسفل. يمكن أن تظهر على النحو التالي:



صيغة بنصميم هيكل الصفائح المطوية. الخطوط العريضة تمثل سلاسل الأحماض الأمينية البروتينية. تمثل *R* هنا المجموعات الموجودة أعلى الورقة، بينما تمثل مجموعات *R'* (حينما هو موضح) أدناها. تُظهر الخطوط الضيقة والمنقطة القوى الجذابة التي تربط سلاسل البروتين معًا.

تتميز بنية الصحيفة المطوية للناتج المرن بمقاومتها للتمدد وتُمثل الكثير من الخصائص الفيزيائية للحرير. تتجانس سلاسل البروتين معًا بإحكام؛ مجموعات R الصغيرة الموجودة على الأسطح متشابهة نسبيًّا في الحجم، مما يخلق سطحًا موحدًا هو الذي يُعطي ملمس الحرير الناعم. بالإضافة إلى ذلك، يعمل هذا السطح الموحد عاكسًا جيدًا للضوء، وهو ما يفسر بريق الحرير المميز. وبالتالي فإن كثيرًا من صفات الحرير ذات القيمة العالية سببها المجموعات الجانبية الصغيرة في تركيبته البروتينية.

يقدر خبراء الحرير أيضًا «بريق» القماش، الذي يُعزى إلى حقيقة أن جزيئات الحرير ليست كلها جزءًا من بنية الصحيفة المطوية المنتظمة. يؤدي عدم الانتظام هذا إلى انكسار الضوء المنعكس، مما يؤدي إلى ظهور ومضات ساطعة من الضوء. غالبًا ما يُعامل الحرير على أنه غير مسبوق في قدرته على امتصاص الأصباغ الطبيعية والاصطناعية، كما أنه سهل التلوين. ترجع هذه الخاصية مرة أخرى إلى أجزاء البنية الحريرية التي لم تتضمن في التسلسل المتكرر المنتظم للصفائح المطوية. ومن بين هذه الأحماض المتبقية ما بين 15 إلى 20 بالمائة أو نحو ذلك من الأحماض الأمينية -ليست الجليسين، أو الألانين، أو السيرين- فهي بعض الأنواع التي يمكن لمجموعاتها الجانبية أن تترابط كيميائيًّا بسهولة مع جزيئات الصبغة، مما ينتج الألوان العميقة والغنية والثابتة التي يشتهر بها الحرير. تُعد هذه الطبيعة المزدوجة للحرير؛ بنية الصفائح المطوية ذات المجموعة الصغيرة المتكررة، المسؤولة عن القوة واللمعان والنعومة، مع وجود الأحماض الأمينية المتبقية الأكثر تنوعًا، التي تعطي البريق وسهولة الصباغة، هي التي صنعت نسيج الحرير المرغوب فيه.

البحث عن الحرير الاصطناعي

هذه هي الخصائص التي تجعل من الصعب الوصول إلى بديل للحرير. ولكن نظرًا إلى أن الحرير كان باهظ الثمن وتزايد الطلب عليه تزايدًا كبيرًا، فقد جرت محاولات كثيرة، بدءًا من أواخر القرن التاسع عشر، لإنتاج نسخة اصطناعية منه. الحرير جزيء بسيط جدًّا، مجرد تكرار لوحدات متشابهة تشابهًا كبيرًا. لكن ربط هذه الوحدات معًا

في الاتحاد العشوائي وغير العشوائي الموجود في الحرير الطبيعي يمثل مشكلة كيميائية معقدة إلى حد كبير. أصبح الكيميائيون المعاصرون الآن قادرين، على نطاق صغير ومحدود، على تكرار النمط المحدد لشريط بروتيني معين، لكن العملية تستغرق وقتًا طويلًا وصعبة. كما أن بروتين الحرير الذي يُصنَّع في المختبر بهذه الطريقة سيكون أغلى بعدة مرات من المادة الطبيعية.

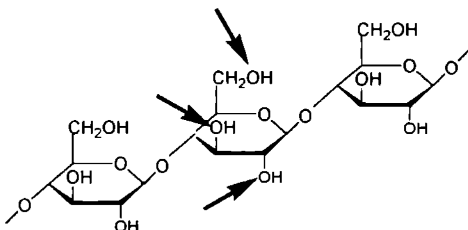
نظرًا إلى عدم إدراك تعقيدات الصيغة البنائية للحرير حتى القرن العشرين، فإن الجهود المبكرة لصنع نسخة اصطناعية كانت مُعززة إلى حد كبير بوقوع مصادفات مفيدة. في وقت ما في أواخر سبعينيات القرن التاسع عشر، اكتشف الكونت الفرنسي إيلاير دو شاردونيه، وهو يُمارس هوايته المفضلة في التصوير الفوتوغرافي، أنَّ محلولًا مسكوبًا من الكولوديون -مادة النيتروسليلوز المستخدمة في طلاء لوحات التصوير الفوتوغرافي- قد تشكل كتلة لزجة، ومن خلالها تمكن من إخراج خيوط طويلة تشبه الحرير. ذكّر هذا شاردونيه بشيء كان قد رآه قبل عدة سنوات: عندما كان طالبًا، رافق أستاذه العظيم لويس باستور إلى ليون، في جنوب فرنسا، للتحقيق في مرض دودة القز الذي سبَّب مشكلات صناعة الحرير الفرنسية. على الرغم من عدم تمكنه من العثور على سبب آفة دودة القز، فقد صرف شاردونيه الكثير من الوقت في دراسة دودة القز وكيفية غزل ألياف الحرير التي تنتجها. ومع وضع ذلك في الحسبان، حاول الآن إدخال محلول الكولوديون عبر مجموعة من الثقوب الصغيرة. وهكذا أنتج أول نسخة مُطابقة معقولة من ألياف الحرير.

غالبًا ما تُستعمل الكلمتان اصطناعي وصناعي بالتبادل في اللغة اليومية وتُدخل في القواميس على أنهما مترادفان. لكن الفارق الكيميائي مهم بينهما. ومن أجل تحقيق أغراضنا، فإن كلمة اصطناعي تعني أن المركب يصنعه الإنسان عن طريق التفاعلات الكيميائية. قد يكون المنتج موجودًا في الطبيعة أو قد لا يوجد بصورة طبيعية. وإذا وُجد في الطبيعة، فإن النسخة الاصطناعية ستكون مطابقة كيميائيًا لتلك الموجودة في المصدر الطبيعي. على سبيل المثال، يمكن تصنيع حمض الأسكوربيك وفيتامين ج في المختبر أو المصنع؛ لذا فيتامين ج الاصطناعي له الصيغة البنائية نفسها تمامًا مثل فيتامين ج الطبيعي.

تشير كلمة صناعي أكثر إلى خصائص المركب. للمركب المُصنَّع صيغة بنائية مختلفة عن أي مركب آخر، لكنه يمتلك خصائص مشابهة بما يكفي لمُحاكاة دور هذا المركب الآخر. على سبيل المثال، المُحلي الصناعي ليس له بنية السكر نفسها، لكنَّ له خاصية مهمة -في هذه الحالة، الحلاوة- مشتركة. غالبًا ما تكون المركبات الصناعية من صنع الإنسان، وبالتالي فهي اصطناعية، ولكن ليس من الضروري أن تُصطنع. بعض المحليات الصناعية موجودة في صورة طبيعيّة.

وما أنتجه شاردونيه كان حريرًا صناعيًا، وليس حريرًا اصطناعيًّا، على الرغم من أنه أُنتج بصورة اصطناعيّة. (وفقًا لتعريفاتنا، فإن الحرير الاصطناعي سيكون من صنع الإنسان ولكنه مطابق كيميائيًّا للحرير الحقيقي.) أمَّا حرير شاردونيه، كما أصبح معروفًا، فيشبه الحرير في بعض خصائصه ولكن ليس في جميعها. فهو ناعم ولامع، ولكن لسوء الحظ شديد الاشتعال، وهي ليست خاصية مرغوبة في

الأقمشة. غُزِل حرير شاردونيه من محلول النيتروسليلوز، وكما رأينا، فإن نسخ السليلوز المنترتة قابلة للاشتعال وحتى للانفجار، اعتمادًا على درجة نترتة الجزيء.



جزء من جزيء السليلوز. تشير الأسهم الموجودة على وحدة الجلوكوز الوسطى إلى مجموعات OH حيث يمكن أن تحدث عملية النيترة على كل وحدة جلوكوز على طول السلسلة.

حصل شاردونيه على براءة اختراع لعمليته في عام 1885 وهمَّ بتصنيع حرير شاردونيه في عام 1891. لكن قابلية المادة للاشتعال أثبتت أنها سبب فشله. في إحدى الحوادث، نثر رجل يدخن السيجار الرماد على فستان مصنوع من حرير شاردونيه كانت ترتديه شريكته في الرقص. وورد أن الثوب قد اختفى في وميض لهب ونفخة من الدخان. ولم يذكر مصير السيدة. على الرغم من أن هذا الحادث وعدد من الكوارث الأخرى في مصنع شاردونيه أدت إلى إغلاقه، فإن شاردونيه لم يتخل عن الحرير الصناعيّ. وبحلول عام 1895، لجأ إلى عملية مختلفة إلى حد ما، تتضمن عامل نزع النترات الذي ينتج حريرًا صناعيًا أكثر أمانًا يعتمد على السليلوز، ولم يكن أكثر قابلية للاشتعال من القطن العادي.

توجد طريقة أخرى، تطورت في إنجلترا في عام 1901، على يد تشارلز كروس وإدوارد بيفان، لإنتاج الفيسكوز، الذي سُمِّي بهذا الاسم بسبب لزوجته العالية. عندما دُفِعَ سائل الفيسكوز عبر عضو الغَزْل إلى حمام حمضي، أنتج السليلوز على هيئة خيط ناعم يسمى حرير الفيسكوز. استخدمت هذه العملية كل من شركة الفيسكوز الأمريكية، التي تأسست في عام 1910، وشركة دو بونت فيبرسيلك (التي أصبحت فيما بعد شركة دو بونت)، التي تأسست في عام 1921. وبحلول عام 1938، وصل الإنتاج إلى 300 مليون رطل من حرير الفيسكوز سنويًا، مما يلبي الطلب المتزايد على الأقمشة الاصطناعية الجديدة ذات اللمعان الحريري المطلوب الذي يذكرنا بالحرير.

لا تزال عملية الفسكوز مستخدمة حتى اليوم، كونها الوسيلة الرئيسة لصنع ما يسمى الآن بالرايون، الحرير الصناعي، مثل حرير الفيسكوز، الذي تتكون خيوطه من السليلوز. على الرغم من أنه لا يزال البوليمر نفسه المكون من وحدات جلوكوز من النوع بيتا، فإن السليلوز الموجود في الحرير الصناعي يُعاد تجديده في ظل ظروف شد خفيف، مما ينتج اختلافًا طفيفًا في التواء خيوط الرايون وهو ما يفسر بريقه العالي. الرايون، أبيض نقي اللون لا يزال له الصيغة البنائية ذاتها، يمكن صبغه بأي عدد من الصبغات ودرجات الألوان بالطريقة نفسها لصبغ القطن. لكن له أيضًا عددًا من العيوب. في حين أن بنية الحرير المطوية (المرنة ولكن المقاومة للتمدد) تجعله مثاليًا لصُنع الجوارب، يمتص الحرير الصناعي المصنوع من السليلوز الماء، مما يؤدي إلى ارتخائه، وهذه خاصية غير مرغوب فيها عند صناعة الجوارب

النايلون: حرير صناعي جديد

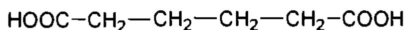
دعت الحاجة إلى إنتاج نوع مختلف من الحرير الصناعي، نوع يتمتع بخصائص الحرير الصناعي الجيدة من دون وجود أوجه قصوره. ظهر النايلون غير السليولوزي على الساحة في عام 1938، ابتكره عالم الكيمياء العضوية الذي استأجرته شركة دو بونت فيبرسيلك. بحلول أواخر العشرينيات من القرن العشرين، اهتمت شركة دو بونت بالمواد البلاستيكية التي تدخل السوق. عُرض على والاس كاروثرز، عالم الكيمياء العضوية في جامعة هارفارد البالغ من العمر 31 عامًا، فرصة إجراء بحث مستقل لصالح شركة دو بونت بميزانية غير محدودة تقريبًا. بدأ العمل في عام 1928 في مختبر دو بونت الجديد المخصص للأبحاث الأساسية، وهو في حد ذاته مفهوم غير معتاد إلى حد كبير، وذلك نظرًا إلى أن ممارسة الأبحاث الأساسية في الصناعة الكيميائية كانت تُترك عادةً للجامعات.

قرر كاروثرز أنه يريد العمل على البوليمرات. في ذلك الوقت، اعتقد معظم الكيميائيين أن البوليمرات في الواقع مجموعات من الجزيئات المتجمعة معًا والمعروفة باسم الغرويات؛ ومن هنا جاء اسم الكولوديون، نسبة إلى مشتق النيتروسليلوز المستخدم في التصوير الفوتوغرافي وفي حرير شاردونيه. يوجد رأي آخر حول بنية البوليمرات، أيده الكيميائي الألماني هيرمان ستودينجر، وهو أن هذه المواد ما هي إلَّا جزيئات كبيرة هائلة الضخامة. وقد كان أكبر جزيء صُنع حتى ذلك الوقت -على يد إميل فيشر، كيميائي السكر العظيم- يبلغ وزنه الجزيئي 4200. وبالمقارنة، يبلغ الوزن الجزيئي

لجزيء الماء البسيط 18، والوزن الجزيئي لجزيء الجلوكوز 180. وفي غضون عام من بدء العمل في مختبر دو بونت، صنع كاروثرز جزيء بوليستر بوزن جزيئي يزيد عن 5000. ثم تمكن من زيادة هذه القيمة إلى 12000، فعزز وجود الأدلة التي تدعم نظرية الجزيء العملاق للبوليمرات، وبسببها كان من المقرر أن يحصل ستودينجر على جائزة نوبل في الكيمياء في عام 1953.

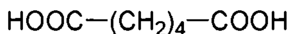
بدا البوليمر الأول الذي ابتكره كاروثرز في البداية كما لو أن له بعض الإمكانات التجارية، لأن خيوطه الطويلة تتلألأ كالحرير ولم تتحول إلى خيوط قاسية أو هشة عند التجفيف. لكن لسوء الحظ، انصهرت في الماء الساخن، وذابت في مذيبات التنظيف الشائعة، وتفككت بعد بضعة أسابيع. وعلى مدى أربع سنوات، أعد كاروثرز وزملاؤه أنواعًا مختلفة من البوليمرات ودرسوا خصائصها، قبل أن ينتجوا أخيرًا النايلون، وهو الألياف التي يصنعها الإنسان وهي الأقرب إلى خصائص الحرير وتستحق أن توصف بـ «الحرير الصناعيّ.»

مادة النايلون مادة بولي أميد، مما يعني أنه، كما هو الحال مع الحرير، ترتبط فيه وحدات البوليمر معًا من خلال روابط الأميد. ولكن في حين أن الحرير له نهاية حمضية ونهاية أمينية في كل وحدة من وحدات الأحماض الأمينية الفردية، فإن النايلون الذي ابتكره كاروثرز كان مصنوعًا من وحدتين مختلفتين من المونومرات -واحدة تحتوي على مجموعتي حمض وواحدة تحتوي على مجموعتي أمين- بالتناوب في السلسلة. يحتوي حمض الأديبيك على مجموعات حمض COOH في كلا الطرفين:

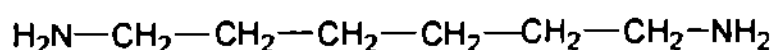


تركيب حمض الأديبيك، موضحًا مجموعتي الحمض في طرفي الجزيء. كتبت المجموعة الحمضية الكربوكسيل COOH- بشكل عكسي بالرمز -HOOC عندما تظهر على الجانب الأيسر.

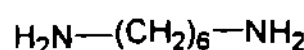
أو مكتوبة كبنية مكثفة (كما يلي):



أمَّا الوحدة الجزيئية الأخرى، 1،6- ديامينوهكسان، فلها بنية مشابهة إلى حد كبير لبنية حمض الأديبيك باستثناء وجود مجموعات أمينية (NH2) مرتبطة مكان مجموعات حمض COOH. توضح البنية بصورة مختصرة كما يلي:



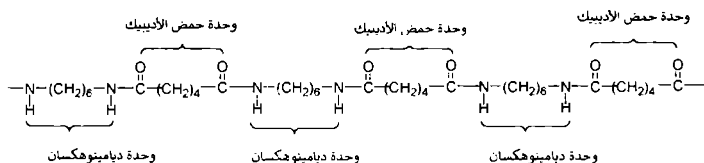
1،6- ديامينوهكسان



صيغة مكثفة لـ 1،6- ديامينوهكسان

تتشكل روابط الأميد في النايلون، مثل روابط الأميد في الحرير، عن طريق إزالة جزيء الماء بين طرفي الجزيئين، بإزالة ذرة هيدروجين (H) من مجموعة النيتريت NH2 ومجموعة (OH) من COOH. الرابطة الأميدية الناتجة، كما هو موضح بهذه الصُّورة -CO-NH- (أو بترتيب عكسي مثل -NH-CO-) تربط الجزيئين المختلفين. ومن هذا المنطلق، حيث إن لهما الرابط الأميدي نفسه، فإن النايلون والحرير يتشابهان تشابهًا كيميائيًّا. في صناعة النايلون، يتفاعل كلا الطرفين الأمينيين لـ 1،6- ديامينوهكسان مع الأطراف الحمضية لجزيئات مختلفة. ويستمر هذا مع إضافة جزيئات بالتبادل إلى كل طرف من

سلسلة النايلون المتنامية. أصبحت النسخة التي ابتكرها كاروثرز من النايلون معروفة باسم «نايلون 66» لأن كل وحدة مونومر تحتوي على ست ذرات كربون.



تركيب النايلون، يُظهر جزيئات متناوبة من حمض الأديبيك و1.6-دیامینوهکسان

استُخدم النايلون لأوَّل مرة تجاريًّا في عام 1938، وكان ذلك في شعيرات فرشاة الأسنان. ثم في عام 1939 سُوِّقتْ جوارب النايلون لأوَّل مرة. أثبت النايلون أنه البوليمر المثالي للجوارب. وكان له الكثير من خصائص الحرير المرغوبة؛ لم يتراخَ أو يتجعد مثل القطن أو الحرير الصناعي؛ والأهم من ذلك أنه كان أقل تكلفة إلى حدٍ كبير من الحرير. حققت الجوارب المصنوعة من النايلون نجاحًا تجاريًا هائلًا. وفي السَّنة التي تلت طرحها، صُنِّع وبيع ما يصل إلى 64 مليون زوج من «النايلون.» لقد كانت الاستجابة لهذا المنتج هائلة إلى درجة أن كلمة النايلون أصبحت الآن مرادفة للجوارب النسائية. بفضل قوته الاستثنائية ومتانته وخفة وزنه، سرعان ما وُجِدَ للنايلون استخدام في الكثير من المنتجات الأخرى: صنارة صيد السَّمك وشباكه، وخيوط مضارب التنس وكرة الريشة، والخيوط الجراحية، وطلاءات الأسلاك الكهربائية.

خلال الحرب العالمية الثانية، تحول الإنتاج الرئيس لشركة دو بونت من النايلون من الخيوط الدقيقة المستخدمة في صناعة الجوارب إلى الخيوط الخشنة اللازمة للمنتجات العسكرية. سيطرت أسلاك الإطارات وشبكات البعوض وبالونات الرصد الجويّ والحبال وغيرها من العناصر العسكرية المعتمدة على استخدام النايلون. أثبت النايلون في مجال المِلاحة الجوِّية أنه بديل ممتاز لأغطية المظلات الحريرية. وبعد نهاية الحرب، تحوَّل إنتاج مصانع النايلون بسرعة مرة أخرى إلى صناعة المنتجات المدنية. بحلول الخمسينيات من القرن العشرين، ظهرت استخدامات النايلون المتعددة في استخدامه في الملابس وملابس التزلج والسجاد والمفروشات والأشرعة والكثير من المنتجات الأخرى. وقد وجد أيضًا أنه مركب قولبة ممتاز وأصبح أول «بلاستيك هندسي»، وهو بلاستيك قوي بما يكفي لاستخدامه بديلًا للمعادن. بلغ إنتاجه إلى عشرة ملايين رطل من النايلون في عام 1953 لهذا الاستخدام وحده.

لسوء الحظ، لم يعش والاس كاروثرز ليرى نجاح اكتشافه. وقع ضحية للاكتئاب الذي صار وضعه أسوأ مع تقدمه في السن، وأنهى حياته في عام 1937 بابتلاع قارورة من السيانيد، غير مدرك أن جزيء البوليمر الذي عمل على تحديد بنيته سيلعب مثل هذا الدور المهيمن في عالم المستقبل.

للحرير والنايلون إرثٌ مماثل. أكثر من مجرد صيغة بنائية قابلة للمقارنة وملاءمة بارزة للاستخدام في الجوارب والمظلات. وقد أسهمت هذه البوليمرات -بطريقتها الخاصة- في إحداث تغييرات

هائلة في الرخاء الاقتصادي في عصرها. لم يفتح الطلب على الحرير طرق التجارة العالمية واتفاقيات التجارة الجديدة فقط؛ بل أدى أيضًا إلى نمو المدن التي اعتمدت على إنتاج الحرير أو تجارة الحرير، وساعد في إنشاء صناعات أخرى، مثل الصباغة والغزل والنسيج، التي تطورت جنبًا إلى جنب مع تربية دودة القز. جلب الحرير ثروة كبيرة وتغييرًا كبيرًا إلى أجزاء كثيرة من العالم. كما حفز إنتاج الحرير والأزياء -في الملابس والمفروشات والفن- في أوروبا وآسيا لعدة قرون، فإن إدخال النايلون وثروة من المنسوجات والمواد الحديثة الأخرى كان له تأثير هائل في عالمنا. في حين أنَّ النباتات والحيوانات توفر المواد الأولية لملابسنا، فإن المنتجات الخام للكثير من الأقمشة تأتي الآن من المنتجات الثانوية لتكرير النفط. بوصفه سلعة، احتل النفط مكانة كانت في السابق مملوكة للحرير. وكما هو الحال مع الحرير، أدى الطلب على النفط إلى صياغة اتفاقيات تجارية جديدة، وفتح طرق تجارية جديدة، وشجع نمو بعض المدن وإنشاء مدن أخرى، وخلق صناعات جديدة ووظائف جديدة، وجلب ثروة كبيرة وتغييرًا كبيرًا إلى أجزاء كثيرة من العالم.



سارعت النساء إلى شراء النايلون وارتدائه بعد الحرب العالمية الثانية عندما أصبح البوليمر متاحًا للجوارب مرة أخرى. (الصورة مقدمة من دو بونت)

الفصل السَّابع

الفينول

أُنتج أوَّل بوليمر من صنع الإنسان بالكامل قبل حوالي خمسة وعشرين عامًا من إنتاج نايلون شركة دو بونت. كان مادة عشوائية في ترابطها التبادليّ إلى حد ما مصنوعة من مركب تشبه صيغته الكيميائية بعض جزيئات التوابل التي نسبنا إليها عصر الاكتشافات. بدأ هذا المركب، أي الفينول، عصرًا آخر، هو عصر البلاستيك. ترتبط الفينولات بموضوعات متنوعة مثل الممارسات الجراحية، والفيلة المهددة بالانقراض، والتصوير الفوتوغرافي، ونباتات الأوركيد، وقد لعبت دورًا محوريًا في عدد من التطورات التي غيرت العالم.

جراحة معقمة

في عام 1860، على الأرجح لم تكن لتود أن تصير مريضًا في المستشفى، وبخاصةٍ ألا تخضع لعملية جراحية. كانت المستشفيات مظلمة ومتسخة وسيئة التهوية. عادة ما أُعطي المرضى أسرة لا تتغير أفرشتها بعد مغادرة المريض الذي شغلها سابقًا، أو على الأرجح بعد موته. أمَّا عنابر العمليات الجراحية فتفوح منها رائحة كريهة من الغرغرينا والنتن. الأمر المروع بالقدر نفسه هو معدل الوفيات الناجمة عن مثل هذه الالتهابات البكتيرية. مات ما لا يقل عن 40

بالمائة من مبتوري الأطراف بسبب ما يسمى بمرض المستشفيات. وفي المستشفيات العسكرية يصل هذا العدد إلى 70 بالمئة.

على الرغم من إدخال أدوية التخدير في نهاية عام 1864، فإن معظم المرضى وافقوا على الجراحة فقط كملاذ أخير. كانت الجروح الجراحية تصاب دائمًا بالعدوى؛ وبناءً على ذلك، يُحافظ الجراح على رتق أماكن إجراء العملية الجراحية بغرزٍ طويلة، ومتدلية نحو الأرض، بحيث يمكن تصريف القيح بعيدًا عن الجرح. عندما تمَّ ذلك، نُظر إلى هذا الفعل على أنَّه علامة إيجابية، لأنَّه تسبب في وجود احتمالات جيدة لكي تظل العدوى موضعية من دون أن تغزو بقية الجسم.

بطبيعة الحال، نحن نعرف الآن السبب وراء انتشار «مرض المستشفيات» والسبب الذي جعله مميتًا إلى هذا القدر. هو حقيقة الأمر مجموعة من الأمراض التي تسببها مجموعة متنوعة من البكتيريا يُمكنها الانتقال بسهولة من مريض إلى آخر أو حتى من الطبيب إلى مجموعة من المرضى في ظل ظروف غير صحية. عندما ساد مرض المستشفيات إلى حدٍ كبير، كان الطبيب عادةً يغلق غُرفة عملياته الجراحية، ويرسل المرضى المتبقين إلى مكان آخر، ويأمر بتطهير المبنى بشموع الكبريت، وتبيض الجدران، وتنظيف الأرضيات. لفترة من الوقت بعد هذه الاحتياطات، تصبح العدوى تحت السيطرة، وهكذا إلى أن يستدعي تفشي المرض مزيدًا من الاهتمام.

أصر بعض الجراحين على الحفاظ على نظافة بصورة مستمرة وصارمة، وهو نظام يتضمن استعمال الكثير من الماء المغلي المُبرَّد. وأيد آخرون نظرية الميازما، وهي نظرية ترى أن الغاز السام الناتج

عن المصارف والمجاري ينتقل في الهواء، وأنه ما إن يلحق المريض إصابة بالعدوى، ينتقل هذا الميازما عبر الهواء إلى مرضى آخرين. ربما بدت نظرية الميازما هذه معقولة إلى حد كبير في ذلك الوقت. ذلك لأنَّ الرائحة الكريهة المنبعثة من المصارف والمجاري سيئة مثل رائحة اللحم المتعفن الذي يعاني مرض الغرغرينا في أجنحة الجراحة، وهو ما يفسر أيضًا حقيقة أنَّ المرضى الذين عُولجوا في المنزل، وليس في المستشفى، غالبًا ما نجوا من العدوى تمامًا. وُصِفت علاجات مختلفة لمواجهة غازات الميازما، بما في ذلك الثيمول، وحمض الساليسيليك، وغاز ثاني أكسيد الكربون، والأدوية المُرَّة، وكمادات الجزر الخام، وكبريتات الزنك، وحمض البوراسيك. حُقق النجاح العرضي لأي من هذه العلاجات من قبيل المصادفة ولم يُمكن تكراره حسب الرغبة.

هذا هو العالم الذي كان يمارس فيه الطبيب جوزيف ليستر الجراحة. ولد ليستر في عام 1827 لعائلة كويكر من يوركشاير، وأكمل دراسته الطبية في كلية في الجامعة في لندن، وبحلول عام 1861 صار جراحًا في المستوصف الملكي في جلاسكو وأستاذًا للجراحة في جامعة جلاسكو. على الرغم من افتتاح مبنى جراحي حديث جديد في المستوصف الملكي خلال الوقت الذي عاش فيه ليستر، فإن مرض المستشفيات ما زال مشكلة هناك بقدر ما كان في أي مكان آخر.

يرى ليستر أن سبب هذا المرض قد لا يعود إلى وجود غاز سام، بل إلى شيء آخر في الهواء، شيء لا يمكن رؤيته بالعين المجردة، شيء مجهري. عند قراءته ورقة بحثية تصف «النظرية الجرثومية للأمراض»،

أدرك على الفور إمكانية تطبيقها على أفكاره الخاصة. كتب هذه الورقة لويس باستور، أستاذ الكيمياء في جامعة ليل، شمال شرق فرنسا، ومعلم شاردونيه صاحب شهرة حرير شاردونيه. عُرضت تجارب باستور حول تخمير النبيذ والحليب على جمع من العلماء في جامعة السوربون في باريس عام 1864. اعتقد باستور أن الجراثيم -وهي كائنات دقيقة لا يمكن اكتشافها بالعين المجردة- موجودة في كل مكان. أظهرت تجاربه أنه يمكن القضاء على مثل هذه الكائنات الحية الدقيقة عن طريق الغليان، مما يؤدي بلا شك إلى عملية بسترة الحليب والمواد الغذائية الأخرى التي نستخدمها في الوقت الحاضر.

نظرًا إلى أنَّ غليان المرضى والجراحين لم يكن عمليًا، كان على ليستر أن يجد طريقة أخرى للقضاء على الجراثيم بأمان على جميع الأسطح. واستقر على حمض الكربوليك، وهو منتج مصنوع من قطران الفحم، وقد استُخدم بنجاح لعلاج مصارف المدن النتنة، وتعرض فعليًّا للتجربة بصفته ضمادًا على الجروح الجراحية، من دون إحداث نتائج إيجابية إلى حد كبير. ثابر ليستر وحقق نجاحًا في حالة صبي يبلغ من العمر أحد عشر عامًا جاء إلى المستوصف الملكي مصابًا بكسر مركب في ساقه. في ذلك الوقت، كانت الكسور المركبة إصابة مخيفة. يمكن تثبيت الكسر البسيط من دون جراحة توسعية، لكن الكسر المركب، حيث تخترق الأطراف الحادة للعظام المكسورة الجلد، يكاد يكون من المؤكد أن يصاب بالعدوى، مهما بلغت مهارة الجراح في تثبيت العظام. عُرف البتر على أنه النتيجة الأكثر احتمالًا، وكان من المحتمل الوفاة بسبب عدوى مستمرة لا يمكن السيطرة عليها.

عمل ليستر على تنظيف المنطقة داخل عظمة الصبي المكسورة وحولها بعناية باستخدام ضماد كتان منقوع في حمض الكربوليك. ثم أعد ضمادة جراحية تتكون من طبقات من الكتان المنقوع في محلول الكربوليك ومغطاة بصفيحة معدنية رقيقة مثنية فوق الساق لتقليل التبخر المحتمل لحمض الكربوليك. لُصقت هذه الضمادة بعناية في مكانها. وسرعان ما تشكلت قشرة، والتئم الجرح سريعًا، ولم تحدث العدوى أبدًا.

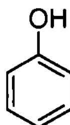
نجا مرضى آخرون من عدوى مرض المستشفيات، ولكن هذه حالة مُنعت فيها العدوى، لكن من دون أن تتجاوزها. عالج ليستر حالات الكسور المركبة اللاحقة بالطريقة نفسها، مما أدى إلى وقوع النتيجة الإيجابية ذاتها، مما أقنعه بفعالية المحاليل الكاربوليكية. بحلول أغسطس 1867، كان يستخدم حمض الكاربوليك عاملًا مطهرًا خلال جميع عملياته الجراحية، وليس فقط ضمادة بعد العملية الجراحية. كما عمل على تحسين تقنياته المطهرة على مدى العقد التالي، وأقنع الجراحين الآخرين تدريجيًّا، الذين ما زال الكثير منهم يرفضون الإيمان بالنظرية الجرثوميّة، عملًا بمبدأ: «إن لم ترها، فإذن هي ليست موجودة.»

توافر قطران الفحم، الذي حصل منه ليستر على محلول حمض الكربوليك، بسهولة بصفته منتج نفايات من إضاءة شوارع المدينة ومنازلها بضوء الغاز خلال القرن التاسع عشر. عملت الشركة الوطنية للضوء والحرارة على تركيب أول إنارة للشوارع تعمل بالغاز في وستمنستر، في مدينة لندن، في عام 1814، وتبع ذلك استخدام

واسع النطاق لإضاءة الغاز في مدن أخرى. كما حصل إنتاج غاز الفحم عن طريق تسخين الفحم في درجات حرارة عالية. كان خليطًا قابلًا للاشتعال، يتكون مما يصل إلى 50 في المائة هيدروجين، و35 في المائة ميثان، وكميات أقل من أول أكسيد الكربون، والإيثيلين، والأسيتيلين، ومركبات عضوية أخرى. نُقِلَ عبر الأنابيب إلى المنازل والمصانع ومصابيح الشوارع من محطات الغاز المحلية. ومع تزايد الطلب على غاز الفحم، تزايدت أيضًا مشكلة ما يجب فعله بقطران الفحم، وهو البقايا غير المهمة لعملية تحويل الفحم إلى غاز.

كان قطران الفحم سائلًا لزجًا أسود اللون ذا رائحة نفاذة، كما أثبت في النهاية أنه مصدر غزير الإنتاج لعدد من الجزيئات العطرية المُهِمَّة. ولم يحدث انخفاض في عملية تحويل الفحم إلى غاز وما يصاحبها من إنتاج قطران الفحم إلا بعد اكتشاف خزانات ضخمة من الغاز الطبيعي، التي تتكون أساسًا من غاز الميثان، في أوائل القرن العشرين. حمض الكربوليك الخام، كما استخدمه ليستر لأول مرة، كان خليطًا مقطرًا من قطران الفحم عند درجات حرارة تتراوح بين 170 درجة مئوية و230 درجة مئوية. ما هو إلَّا مادة زيتية داكنة اللون وذات رائحة بالغة القوى تحرق الجلد. تمكن ليستر في النهاية من الحصول على المكون الرئيس لحمض الكاربوليك، *الفينول* في شكله النقي على شكل بلورات بيضاء.

الفينول هو جزيء عطري بسيط يتكون من حلقة بنزين ترتبط بها مجموعة الأكسجين والهيدروجين أو مجموعة الهيدروكسيل (OH).



هو قابل للذوبان في الماء إلى حد ما وقابل للذوبان إلى حدٍ كبير في الزيت. استفاد ليستر من هذه الخصائص من خلال تطوير ما أصبح يعرف باسم «كمادات معجون الكاربوليك»، وهي خليط من الفينول مع زيت بذر الكتان ومستحضر مبيض (مسحوق الطباشير). يوضع المعجون الناتج (المفروش على ورقة من ورق القصدير) على هيئة كمادات على الجرح ويعمل على أنه قشرة، مما يوفر حاجزًا أمام البكتيريا. استُخدم محلول أقل تركيزًا من الفينول في الماء، عادةً حوالي جزء واحد من الفينول إلى ما بين عشرين إلى أربعين جزءًا من الماء، لغسل الجلد حول الجرح والأدوات الجراحية ويدي الجراح، كما رُشَّ أيضًا على منطقة الجرح في أثناء العملية.

على الرغم من فعالية علاج ليستر بحمض الكربوليك، كما يتضح من معدلات تعافي مرضاه، لم يكن مقتنعًا بأنه قد وصل إلى ظروف مطهرة تمامًا في أثناء العمليات الجراحية. انتابه اعتقاد أن كل جسيم غبار في الهواء يحمل جراثيم، وفي محاولة لمنع هذه الجراثيم المحمولة في الهواء من تلويث العمليات، عكف على تطوير آلة ترش باستمرار رذاذًا خفيفًا من محلول حمض الكربوليك في الهواء، مما يؤدي إلى غمر المنطقة بأكملها على نحوٍ فعال. لكنَّ الجراثيم المحمولة جوًا هي في الواقع مشكلة أقل تأثيرًا مما افترض ليستر. فالمشكلة الحقيقية هي

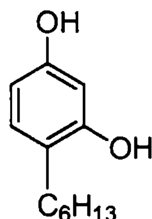
الكائنات الحية الدقيقة التي تأتي من ملابس وشعر وجلد والأفواه والأنوف للجراحين والأطباء الآخرين وطلاب الطب الذين ساعدوا في العمليات الجراحية أو شاهدوها بصورة روتينية من دون اتخاذ أي احتياطات مطهرة. أمَّا بروتوكول غرفة العمليات الحديثة الذي يشمل الأقنعة المعقمة، وبدلات التنظيف، وأغطية الشعر، والستائر، والقفازات المصنوعة من اللاتكس فهو يحل الآن هذه المشكلة.

لقد ساعدت آلة الرش الكاربوليكية التي ابتكرها ليستر في منع التلوث الذي تُسببه الكائنات الحية الدقيقة، ولكن كان لها آثار سلبية في حياة الجراحين والآخرين في غرفة العمليات. فالفينول سام، وحتى في المحاليل المخففة فإنه يسبب تبييض الجلد وتشققه وتخديره. كما أن استنشاق الرذاذ الفينولي يمكن أن يؤدي إلى المرض؛ وقد رفض بعض الجراحين مواصلة العمل عند استخدام رذاذ الفينول. على الرغم من هذه العيوب، كانت تقنيات ليستر في الجراحة المطهرة فعالة إلى حدٍ كبير وتحققت النتائج الإيجابية بوضوح تام إلى درجة أنه بحلول عام 1878 أصبحت تُستخدم في جميع أنحاء العالم. ونادرًا ما يُستخدم الفينول اليوم مطهرًا. فتأثيره القاسي في الجلد وسميته يجعلانه أقل فائدة من المطهرات الأحدث التي تطورت.

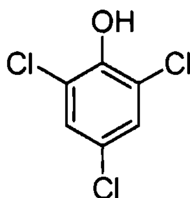
الفينولات متعددة الأوجه

لا ينطبق اسم *الفينول* فقط على جزيء ليستر المطهر؛ بل إنه ينطبق على مجموعة واسعة من المركبات ذات الصلة التي تحتوي جميعها على مجموعة هيدروكسيل (OH) متصلة مباشرة بحلقة البنزين. قد يبدو هذا مربكًا قليلًا، نظرًا إلى وجود الآلاف أو حتى مئات الآلاف من

الفينولات، ولكن يوجد مركب «فينول» واحد فقط. توجد فينولات من صنع الإنسان، مثل ثلاثي كلوروفينول وهكسيل ريزورسينول، لها خصائص مضادة للجراثيم تستخدم اليوم على أنها مطهرات.

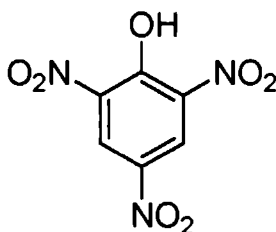


هكسيل ريزورسينول



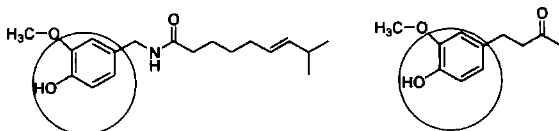
ثلاثي كلوروفينول

حمض البكريك، الذي استخدم في الأصل صبغة -وبخاصة للحرير- ثم استخدمه البريطانيون لاحقًا في صناعة الأسلحة في حرب البوير وفي المراحل الأولى من الحرب العالمية الأولى، هو ثلاثي نيترو الفينول شديد الانفجار.



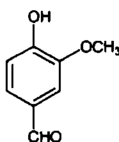
ثلاثي نيتروالفينول (حمض البكريك)

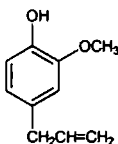
توجد الكثير من الفينولات المختلفة في الطبيعة. ويمكن تصنيف الجزيئات الحارَّة -الكابسيسين من الفلفل والوزينجرون من الزنجبيل- على أنها فينولات، وبعض الجزيئات ذات الرائحة القوية في التوابل -اليوجينول من القرنفل والأيزويوجينول من جوزة الطيب- هي أعضاء في عائلة الفينول.

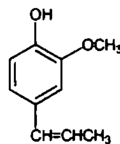


الكابسيسين (عن اليسار) والوزينجرون (عن اليمين). جزء الفينول من كل تركيب محاط بدائرة.

أمَّا الفانيلين، العنصر النشط في أحد مركبات النكهة الأكثر استخدامًا في حياتنا، الفانيليا، فهو أيضًا فينول، ببنية مشابهة جدًّا لبنية اليوجينول والأيزويوجينول.







الفانيلين *يوجينول* *أيزويوجينول*

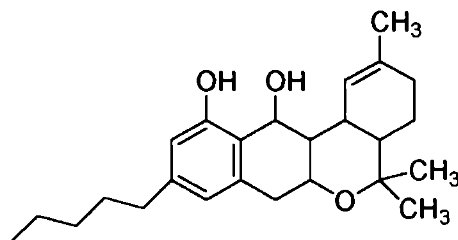
يوجد الفانيلين في قرون البذور المجففة والمخمرة من زهرة أوركيد الفانيليا (*فانيلا بلانيفوليا*)[1] موطنها جزر الهند الغربية وأمريكا الوسطى ولكنها تنمو الآن في جميع أنحاء العالم. تُباع هذه البذور الطويلة والرفيعة والعطرة على هيئة حبوب الفانيليا، وقد يُشكل الفانيلين ما يصل إلى 2 بالمائة من وزنها. عندما يُخزَّن النبيذ في براميل من خشب البلوط، تتسرب جزيئات الفانيلين من الخشب، مما يسهم في إحداث التغييرات التي تشكل عملية الشيخوخة. خليط الشوكولاتة هو خليط يحتوي على الكاكاو والفانيلين. يعتمد الكسترد والآيس كريم والصلصات والعصائر والكعك والكثير من الأطعمة الأخرى جزئيًّا على الفانيليا في نكهتها. تحتوي العطور أيضًا على الفانيلين لرائحته المميزة.

وصلنا الآن إلى صورة مفهومة للخصائص الفريدة لبعض أعضاء عائلة الفينول الموجودة بصورة طبيعيّة. رباعي هيدروكانابينول (THC)، العنصر النشط في الماريجوانا، هو الفينول الموجود في *كانيباس ساتيفا*[2]، نبات القنب الهندي. استمرت زراعة نباتات الماريجوانا لعدة قرون بسبب الألياف القوية الموجودة في الجذع، التي يُصنع منها حبالًا ممتازة وقماشًا خشنًا، توجد الخصائص المسكرة والمهدئة والمهلوسة الخفيفة لجزيء رباعي هيدروكانابينول (THC)

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي Vanilla Planifolia، ويعني فانيلا مسطحة الأوراق.

(2) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي Cannabis Sativa.

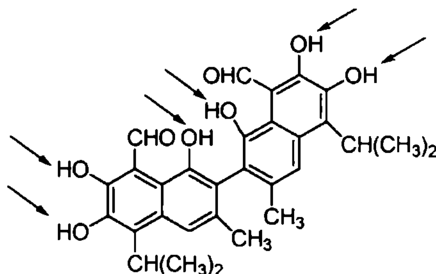
-في بعض أصناف القنب- في جميع أجزاء النبات لكن تحديدًا غالبًا في براعم الزهور الأنثوية.



رباعي هيدروكانابينول، المادة النشطة في الماريجوانا

سُمح الآن بالاستخدام الطبي لرباعي هيدروكانابينول الموجود في الماريجوانا لعلاج الغثيان والألم وفقدان الشهية لدى المرضى الذين يعانون السرطان والإيدز وأمراضًا أخرى، في بعض الولايات والبلدان.

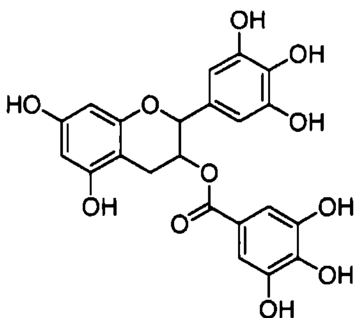
غالبًا ما تحتوي الفينولات الموجودة طبيعيًا على مجموعتين أو أكثر من مجموعات الهيدروكسيل (OH) متصلة بحلقة البنزين. يُصنف الجوسيبول على أنه مركب سام، وأنه بوليفينول لأنه يحتوي على ست مجموعات هيدروكسيل (OH) متصلة بأربع حلقات بنزين مختلفة.



جزيء الجوسيبول. أشير إلى مجموعات الفينول *(OH)* الستة من خلال الأسهم.

وقد ثبت أن الجوسيبول، المستخرج من بذور نبات القطن، فعال في قمع إنتاج الحيوانات المنوية لدى الرجال، مما يجعله مرشحًا محتملًا كوسيلة لتحديد النسل الكيميائي للذكور. قد تكون الآثار الاجتماعية المترتبة على استخدام وسائل منع الحمل هذه هائلة.

يحتوي الجزيء الذي يحمل الاسم المعقد *إبيجالوكاتشين3- - جالات*، الموجود في الشاي الأخضر، على عدد أكبر من مجموعات الهيدروكسيل (OH) الفينولية.



جزيء إبيجالوكاتشين-3-جالات، الموجود في الشاي الأخضر، يحتوي على 8 مجموعات فينول

وقد نسب إليه مؤخرًا الفضل في توفير الحماية ضد أنواع مختلفة من السرطان. كما أظهرت دراسات أخرى أن مركبات البوليفينول الموجودة في النبيذ الأحمر تمنع إنتاج مادة تشكل عاملًا في تصلب الشرايين، مما قد يفسر انخفاض معدلات الإصابة بأمراض القلب في البلدان التي تستهلك الكثير من النبيذ الأحمر. على الرغم من اتباع نظام غذائي غني بالزبدة والجبن وغيرها من الأطعمة التي تحتوي على نسبة عالية من الدهون الحيوانية.

الفينول في البلاستيك

على الرغم من أهمية مشتقات الفينول الكثيرة المختلفة، فإن المركب الأصلي، الفينول نفسه، هو الذي أحدث أعظم التغييرات في عالمنا. وبقدر ما كان جزيء الفينول مفيدًا ومؤثرًا في تطوير الجراحة المطهرة، فإن له دورًا مختلفًا تمامًا وربما أكثر أهمية في نمو صناعة

جديدة تمامًا. في الوقت نفسه الذي كان فيه ليستر يقوم بتجربة حمض الكربوليك، تزايد استخدام العاج من الحيوانات لأشياء متنوعة مثل الأمشاط وأدوات المائدة والأزرار والصناديق وقطع الشطرنج ومفاتيح البيانو تزايدًا سريعًا. ومع مقتل المزيد والمزيد من الأفيال من أجل الحصول على أنيابها، أصبح العاج نادرًا وباهظ الثمن. تفشت حالة من القلق بشأن انخفاض أعداد الأفيال في الولايات المتحدة، ليس لأسباب الحفاظ على البيئة التي نتبناها اليوم ولكن بسبب الشعبية المتزايدة للعبة البلياردو. تتطلب كرات البلياردو عاجًا عالي الجودة حتى تتدحرج الكرة على نحوٍ صحيح. يجب قطعها من مركز ناب الحيوان الخالي من العيوب، وواحد فقط من كل خمسين نابًا يوفر الكثافة المتسقة اللازمة.

في العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر، ومع تضاؤل إمدادات العاج، بدت فكرة الوصول إلى مادة صناعية لتحل محله معقولة. صُنعت كرات البلياردو الصناعية الأولى من خليط مضغوط من مواد مثل لب الخشب، وغبار العظام، ومعجون القطن القابل للذوبان المشرب أو المطلي بالراتنج الصلب. أمَّا المكون الرئيس لهذه الراتنجات فهو السليلوز، وغالبًا ما يكون شكلًا من السليلوز النتراتي. استخدمت نسخة أحدث وأكثر تطورًا وهو السيليلويد البوليمر الذي يعتمد في إنتاجه على السليلوز. يمكن التحكم في صلابة السيليلويد وكثافته في أثناء عملية التصنيع. السيليلويد هو أول مادة لدنة بالحرارة، أي مادة يمكن صهرها وإعادة تشكيلها عدة مرات في عملية كانت رائدة لآلة القولبة حقن اللدائن الحديثة، وهي

طريقة لإعادة إنتاج الأشياء بصورةٍ متكرر وبتكلفة زهيدة لا تحتاج إلى عمالة ماهرة.

المشكلة الرئيسة في البوليمرات المُنتجَة من السليلوز هي قابليتها للاشتعال، وبخاصة المواد التي تُصنع من النيتروسليلوز، وميلها إلى الانفجار. لا يوجد روايات مُدونة عن انفجار كرات البلياردو المصنوعة من السيلولويد، لكن السيلولويد كان يشكل خطرًا محتملًا على السلامة. في صناعة الأفلام، تكوَّن الفيلم في الأصل من بوليمر السليولويد المصنوع من النيتروسليلوز، باستخدام الكافور بصفته مادة ملدنة لتحسين المرونة. بعد حريق كارثي وقع في عام 1897 في إحدى دور السينما في باريس وأدى إلى مقتل 120 شخصًا، بُطنِّت صالات العرض بالقصدير لمنع انتشار الحريق في حالة اشتعال الفيلم. ومع ذلك، فإن هذا الإجراء الاحترازي لم يُقدِّم شيئًا لحماية آلة عرض الأفلام.

في أوائل القرن العشرين، عمل ليو بايكلاند، وهو شاب بلجيكي مهاجر إلى الولايات المتحدة، على تطوير أول نسخة اصطناعية حقيقية من المادة التي نسميها الآن *البلاستيك*. كان هذا أمرًا ثوريًا، نظرًا إلى أن أنواع البوليمرات التي صُنعت حتى هذا الوقت تتكون، جزئيًا على الأقل، من مادة السليلوز الموجودة بصورة طبيعية. بفضل اختراع بايكلاند، بدأ عصر البلاستيك. كان كيميائيًا لامعًا ومبتكرًا، حصل على درجة الدكتوراة من جامعة غنت وهو في الحادية والعشرين من عمره، وكان بإمكانه أن يستقر في حياة أكاديمية آمنة. لكنه اختار بدلًا من ذلك الهجرة إلى العالم الجديد، حيث اعتقد أن فرص تطوير اختراعاته الكيميائية الخاصة وتصنيعها ستكون أكبر.



قلَّت الندرة المتزايدة للعاج عالي الجودة من أنياب الفيل من خلال تطوير الراتنجات الفينولية مثل الباكليت. (الصورة مقدمة من مايكل بيجر)

في البداية بدا هذا الاختيار خطأً، لأنه على الرغم من العمل الجاد لبضع سنوات على عدد من المنتجات التجارية المحتملة، فكان على وشك الإفلاس في عام 1893. ثم، في حاجة ماسة إلى رأس المال، اقترب بايكلاند من جورج إيستمان، مؤسس شركة التصوير الفوتوغرافي إيستمان كوداك، وعرض عليه بيع نوع جديد من ورق التصوير الفوتوغرافي الذي ابتكره. أُعدت هذه الورقة باستخدام مستحلب كلوريد الفضة الذي ألغى خطوات الغسيل والتسخين لتطوير الصورة وعزز حساسية الضوء إلى مستوى يمكن تعريضه للضوء الصناعي (ضوء الغاز في تسعينيات القرن التاسع عشر).

وهكذا يستطيع المصورون الهواة تطوير صورهم الفوتوغرافية بسرعة وسهولة في المنزل أو إرسالها إلى أحد مختبرات المعالجة الجديدة المفتوحة في جميع أنحاء البلاد.

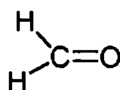
وحينما كان يستقل القطار للقاء إيستمان، قرر بايكلاند أنه سيطلب مبلغًا قدره 50 ألف دولار مقابل ورق التصوير الفوتوغرافي الجديد الذي صنعه، نظرًا إلى أنه يُعد تحسينًا كبيرًا على منتج السيلولويد مع تفادي أخطار الحرائق المرتبطة به التي استخدمتها شركة إيستمان في ذلك الوقت. إذا أُجبر على التسوية، أخبر بايكلاند نفسه أنه لن يقبل بأقل من ذلك 25000 دولار، لا يزال مبلغًا كبيرًا إلى حد معقول في تلك الأيام. ومع ذلك، كان إيستمان معجبًا إلى حد كبير بورقة التصوير الفوتوغرافي التي صنعها بايكلاند، لدرجة أنه عرض عليه على الفور مبلغًا ضخمًا قدره 750 ألف دولار. قبل بايكلاند المذهول المال واستخدمه لإنشاء مختبر حديث بجوار منزله.

بعد حل مشكلة بايكلاند المالية، صرف انتباهه إلى إنشاء نسخة اصطناعية من الشيلاك[1]، وهي مادة استُخدمت لسنوات طويلة بصفتها مادة حافظة للخشب ولا تزال تستخدم حتى اليوم. يُحصل على الشيلاك من إفراز أنثى خنفساء اللاك أو خنفساء لاكسيفير لاكا، التي تعيش في جنوب شرق آسيا. تلتصق الخنافس بالأشجار، وتمتص العصارة، وفي النهاية تصبح مغطاة بغطاء من إفرازاتها. بعد التكاثر، تموت الخنافس، وتُجمع علبها أو أصدافها -ولهذا كلمة

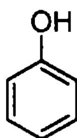
(1) ملحوظة المترجمة: تُسمى أيضًا مادة اللك.

صدفة[1] جزء من كلمة شيلاك- وتُصهر. ويُرشَّح السائل الناتج لإزالة أجسام الخنافس الميتة. يستغرق خمسة عشر ألف خنفساء لاك ستة أشهر لإنتاج رطل واحد من الشيلاك. وطالما استُخدم الشيلاك فقط طبقة رقيقة، وسعره في المتناول، ولكن مع زيادة استخدام الشيلاك في الصناعة الكهربائية، التي كانت تتوسع بسرعة في بداية القرن العشرين، ارتفع الطلب على هذه المادة. صارت تكلفة صنع عازل كهربائي، حتى باستخدام الورق المشرب بالشيلاك، مرتفعة، وأدرك بايكلاند أن الشيلاك الاصطناعي سيصبح ضرورة في مجال العوازل في هذا السوق المتزايد.

في النهج الأول الذي اتبعه بايكلاند في حل مشكلة صنع الشيلاك استعمل تفاعل الفينول -وهو الجزيء نفسه الذي نجح ليستر في تحويل الجراحة به بنجاح- والفورمالدهيد، وهو مركب مشتق من الميثانول (أو كحول الخشب) وكان يُستخدم في تلك الأيام على نطاق واسع عاملًا للتحنيط على يد متعهدي دفن الموتى وللحفاظ على العينات الحيوانية.



فورمالدهيد



فينول

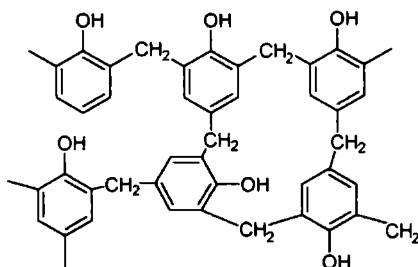
(1) ملحوظة المترجمة: صدفة بالإنجليزية نطقها شِل، وبالتالي يُصبح اسم المادة حرفيًّا صدفة حشرة اللك.

أدت المحاولات السابقة للجمع بين هذه المركبات إلى نتائج محبطة. أسفرت التفاعلات السريعة وغير المنضبطة عن ظهور مواد غير قابلة للذوبان وغير قابلة للانصهار، وكانت هشة إلى حد كبير وغير مرنة فلا يُمكن أن تصبح مفيدة. لكن بايكلاند أدرك أنَّ مثل هذه الخصائص يمكن أن تكون تحديدًا ما نحتاج إليه في مادة شيلاك الاصطناعية للعوازل الكهربائية، فقط إذا تمكن من التحكم في التفاعل بحيث يمكن معالجة المادة إلى شكل قابل للاستخدام.

بحلول عام 1907، وباستخدام تفاعل تمكن من خلاله التحكم في كل من الحرارة والضغط، أنتج بايكلاند سائلًا يتصلب بسرعة إلى مادة صلبة شفافة بلون العنبر تتوافق تمامًا مع شكل القالب أو الوعاء الذي تُصبُّ فيه. أطلق على المادة اسم *الباكليت* وأطلق على الجهاز المعدل الذي يشبه طنجرة الضغط المستخدم لإنتاجها اسم *الباكيليزر*. ربما يمكننا أن نجد مبررًا للترويج الذاتي المتأصل في هذه الأسماء عندما ننظر إلى أن بايكلاند قضى خمس سنوات في العمل على هذا التفاعل من أجل بنية هذه المادة.

في حين أنَّ مادة الشيلاك تتشوه بالحرارة، فالباكليت يحتفظ بشكله عند درجات حرارة عالية. بمجرد ضبطه، لا يمكن صهره وإعادة تشكيله. كان الباكليت مادة متصلبة حراريًّا؛ أي أنه تجمَّد على صورته هذه إلى الأبد، على عكس المواد اللدنة بالحرارة مثل السيليلويد. تعود خاصية التصلد الحراري الفريدة لهذا الراتنج الفينولي إلى صيغته البنائية: يمكن أن يتفاعل الفورمالديهايد الموجود في الباكليت في ثلاثة أماكن مختلفة على حلقة البنزين من الفينول، مما يتسبب في وجود

روابط متناوبة بين سلاسل البوليمر. تُعزى الصلابة في الباكليت إلى هذه الروابط المتناوبة شديدة القِصر المرتبطة بحلقات البنزين الصلبة والمستوية فعليًّا.



صيغة بنائية للباكليت تظهر الروابط المتناوبة CH_2 بين جزيئات الفينول. هذه ليست سوى بعض الطرق الممكنة للربط؛ في المادة الفعلية تكون الروابط عشوائية

عند استخدام الباكليت في العوازل الكهربائية، كان أداؤه متفوقًا على أداء أي مادة أخرى. هو أكثر مقاومة للحرارة من الشيلاك أو أي إصدارات ورقية مشربة بالشيلاك. وهو أقل هشاشة من العوازل الخزفية أو الزجاجية؛ ويتمتع بمقاومة كهربائية أفضل من البورسلين أو الميكا. لم يتفاعل الباكليت مع الشمس أو الماء أو الهواء المالح أو الأوزون وكان منيعًا للأحماض والمذيبات. ليس من السهل أن يتشقق أو يُقطع أو يتغير لونه أو يتلاشى أو يحترق أو يذوب.

في وقت لاحق، على الرغم من أن هذا لم يكن القصد الأصلي لمخترعه، فقد وجد أن الباكليت هو المادة المثالية لكرات البلياردو. فمرونة الباكليت مشابهة إلى حدٍ كبير لمرونة العاج، وكرات البلياردو الباكليت، عندما اصطدمت بالأرضية، أصدرت صوت النقر المقبول

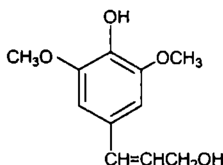
نفسه كما فعلت كرات البلياردو العاجية، وهو عامل مهم كان مفقودًا في إصدارات السيلولويد. بحلول عام 1912، صُنعت جميع كرات البلياردو غير العاجية تقريبًا من الباكليت. تبع ذلك الكثير من التطبيقات الأخرى، وفي غضون بضع سنوات انتشر الباكليت في كل مكان. دخل استعماله في الهواتف، والأوعية، ومحركات الغسالات، وأنابيب الغليونات، والأثاث، وقطع غيار السيارات، وأقلام الحبر، والأطباق، والنظارات، وأجهزة الراديو، والكاميرات، ومعدات المطبخ، ومقابض السكاكين، والفرش، والأدراج، وتجهيزات الحمامات، وحتى الأعمال الفنية والعناصر الزخرفية. كلها مصنوعة من الباكليت. أصبح الباكليت معروفًا بأنه «المادة التي تصلح لآلاف الاستخدامات»، على الرغم من أن راتنجات فينولية أخرى حلت محل المادة البُنِيَّة الأصلية في الوقت الحاضر. فيما بعد صارت الراتنجات اللاحقة عديمة اللون ويمكن تلوينها بسهولة.

الفينول للنكهة

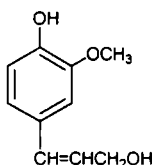
صنع الباكليت ليس المثال الوحيد على أنَّ جزيء الفينول هو الأساس لتطوير مادة صناعية لتحل محل مادة طبيعية تجاوز الطلب عليها العرض. ازداد توسع سوق الفانيلين لفترة طويلة إلى حد أنَّ العرض المتوافر من أوركيد الفانيليا لم يعد كافيًا. لذلك صُنِّع الفانيلين الاصطناعي من مصدر مدهش: سائل لب النفايات الناتج عن معالجة كبريتيت لب الخشب في صناعة الورق. يتكون سائل النفايات أساسًا من مادة اللجنين، وهي مادة موجودة داخل جدران خلايا النباتات البرية وفيما بينها. يسهم اللجنين في صلابة النباتات ويشكل حوالي

25 بالمائة من الوزن الجاف للخشب. إنه ليس مركبًا واحدًا ولكنه بوليمر بروابط متناوبة من وحدات فينولية مختلفة.

يظهر اختلاف في تكوين اللجنين بين الأخشاب اللينة والأخشاب الصلبة كما هو موضح من خلال بنية اللبنات الأساسية لكل من اللجنين. في اللجنين، كما هو الحال في الباكليت، تعتمد صلابة الخشب على درجة الترابط بين الجزيئات الفينولية. تسمح الفينولات الثلاثية الاستبدال، الموجودة فقط في الأخشاب الصلبة، بوجود مزيد من الروابط المتناوبة، وبالتالي تُفسر سبب كون الأخشاب الصلبة «أقوى» من الأخشاب اللينة.

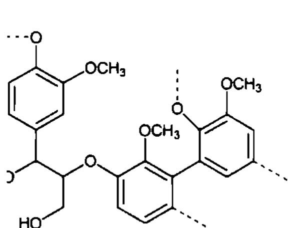


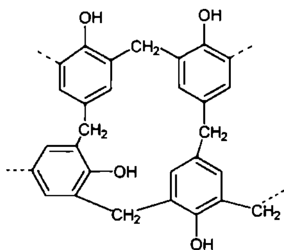
قالب بناء من الخشب الصلب (فينول ثلاثي الاستبدال)



قالب بناء من الخشب اللين (الفينول المزدوج الاستبدال)

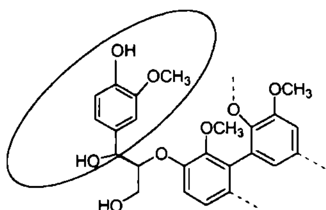
ويوضح أدناه بنية تمثيلية للجنين يُظهر بعض الروابط المتناوبة بين وحدات لبنات البناء هذه. لديها أوجه تشابه واضحة مع باكليت بايكلاند.

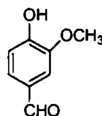




جزء من بنية اللجنين (عن اليسار). تشير الخطوط المنقطة إلى الاتصال ببقية الجزيء. يحتوي هيكل الباكليت (عن اليمين) أيضًا على روابط متناوبة بين وحدات الفينول.

الجزء المحاط بدائرة في رسم اللجنين (فيما يلي) يسلط الضوء على جزء من البنية التي تشبه إلى حد كبير جزيء الفانيلين. عندما يتكسر جزيء اللجنين تحت ظروف خاضعة للرقابة، يمكن إنتاج الفانيلين.





اللجنين (عن اليسار)، مع الجزء الدائري من بنيته الذي يشبه إلى حد كبير جزيء الفانيلين (عن اليمين)

الفانيلين الاصطناعي ليس مجرد تقليد كيميائي للشيء الحقيقي؛ بل هي جزيئات فانيلين نقية مصنوعة من مصدر طبيعي ومطابقة تمامًا كيميائيًا للفانيلين الموجود في حبة الفانيليا. ومع ذلك، فإن نكهة الفانيليا التي يحصل عليها من استخدام حبة الفانيليا الكاملة تحتوي على كميات ضئيلة من المركبات الأخرى التي تعطي، مع جزيء الفانيلين، النكهة العامة للفانيليا الحقيقية. تحتوي نكهة الفانيليا

الاصطناعية على جزيئات الفانيلين الاصطناعية في محلول يحتوي على الكراميل بصفته عامل تلوين.

قد يبدو الأمر غريبًا، إلا أنه توجد علاقة كيميائية بين الفانيليا وجزيء الفينول، الموجود على هيئة حمض الكربوليك. تحت ضغوط كبيرة ودرجات حرارة معتدلة على مدى فترة طويلة، يتشكل الفحم من المواد النباتية المتحللة، بما في ذلك، بطبيعة الحال، اللجنين من الأنسجة الخشبية، وكذلك السليلوز، وهو عنصر رئيس آخر في الغطاء النباتي. وفي عملية تسخين الفحم للحصول على وقود غاز الفحم المهم للمنازل والصناعات، ينتج سائل أسود لزج ذو رائحة نفاذة. هذا هو قطران الفحم، وهو مصدر حمض الكربوليك كما قال ليستر. أي إنه اشتق الفينول المطهر في النهاية من اللجنين.

الفينول هو أول ما أتاح إجراء الجراحة في ظروف مطهرة، مما سمح بإجراء العمليات من دون التعرض لخطر الإصابة بعدوى تهدد الحياة. غيّر الفينول احتمالات البقاء على قيد الحياة لآلاف المصابين في الحوادث أو الحروب. ومن دون الفينول والمطهرات اللاحقة، لم تكن الإنجازات الجراحية المذهلة اليوم ممكنة على الإطلاق، مثل استبدال مفصل الورك، وجراحة القلب المفتوح، وزرع الأعضاء، وجراحة الأعصاب، والإصلاحات الجراحية المجهرية.

من خلال الاستثمار في اختراع بايكلاند لورق التصوير الفوتوغرافي، تمكن جورج إيستمان من تقديم فيلم أفضل، جنبًا إلى جنب مع إدخال كاميرا غير مكلفة إطلاقًا في عام 1900 -وهي كاميرا كوداك براوني، التي كانت تباع بدولار واحد- غيرت التصوير

الفوتوغرافي من السعي وراء الثراء إلى أن يصبح هواية متاحة للجميع. موّل استثمار إيستمان تطوير أول مادة اصطناعية حقيقية في عصر البلاستيك، وهي الباكليت، باستخدام الفينول مادةً أولية، وهو الذي استُخدم في صناعة العوازل اللازمة للاستخدام الواسع النطاق للطاقة الكهربائية، كما أنه عامل رئيس في العالم الصناعي الحديث.

لقد غيرت الفينولات التي ناقشناها حياتنا بعدة طرق كبيرة (الجراحة المطهرة، وتطوير البلاستيك، والفينولات المتفجرة) وبطرق متعددة صغيرة (العوامل الصحية المحتملة، والأطعمة الغنية بالتوابل، والأصباغ الطبيعية، والفانيليا بأسعار معقولة). ومع وجود مثل هذا التنوع الكبير في البنيات البنائية، فمن المرجح أن تستمر الفينولات في تشكيل التاريخ.

الفصل الثامن

الأيزوبرين

كيف سيبدو العالم من دون إطارات سياراتنا وشاحناتنا وطائراتنا، هل يُمكنك التخيل؟ من دون جوانات الحشو والأحزمة المروحية في محركاتنا، والأشرطة المطاطية في ملابسنا، والنعال المقاومة للماء في أحذيتنا؟ إلى أين سيكون مصيرنا من دون وجود هذه العناصر العادية ولكن المفيدة مثل الأربطة المطاطية؟

شاع استعمال المطاط والمنتجات المطاطية إلى حدٍ كبير ولذلك ربما لا نفكر أبدًا في ماهية المطاط وكيف غير حياتنا. على الرغم من أن البشرية ورد إليها علمٌ بوجوده منذ مئات السنين، فإنه في القرن ونصف القرن الماضيين أصبح المطاط عنصرًا جوهريًا في الحضارة. يعود سبب وجود الخصائص الفريدة للمطاط إلى صيغته البنائية، وقد أدى التلاعب الكيميائي في هذه البنية إلى إنتاج جزيء منه تكوَّنت ثروات، وأزهقت أرواح، وتغيرت بلدان إلى الأبد.

أصول المطاط

عُرف بعض أشكال المطاط لفترة طويلة في معظم أنحاء أمريكا الوسطى والجنوبية. غالبًا ما يُعزى أول استخدام للمطاط، سواء للأغراض التزيينية أو الأغراض العملية، إلى القبائل الهندية في حوض

الأمازون. يعود تاريخ الكرات المطاطية من موقع أثري في أمريكا الوسطى بالقرب من فيراكروز بالمكسيك إلى ما بين 1600 و1200 قبل الميلاد. في رحلة كريستوفر كولومبوس الثانية إلى العالم الجديد، في عام 1495، رأى هنودًا في جزيرة هيسبانيولا يلعبون بكرات ثقيلة مصنوعة من صمغ نباتي ترتد عاليًّا فتبعث الدهشة في النّفس. قال: «أفضل من تلك الكُرات المملوءة بالهواء في إسبانيا»، في إشارة على ما يبدو إلى مثانات الحيوانات المنتفخة التي يستخدمها الإسبان عند لعب الكرة. جلب كولومبوس بعضًا من هذه المواد الجديدة إلى أوروبا، كما فعل الرحالة الآخرون من بعده إلى العالم الجديد. ظلت عينات اللاتكس المطاطي عنصرًا جديدًا في المقام الأول؛ ومع ذلك، أصبحت لزجة وكريهة الرائحة في الجو الحار، وقاسية وجافّة في فصول الشتاء الأوروبية.

الفرنسي الذي يُدعى تشارلز ماري دي لا كوندامين هو أول من بحث فيما إذا كان هناك استخدام حقيقي لهذه المادة الغريبة. أُرسل لا كوندامين -الذي وُصِف على نطاق واسع على أنه عالم رياضيات وجغرافي وعالم فلك، بالإضافة إلى كونه مستهترًا ومغامرًا- بفضل الأكاديمية الفرنسية للعلوم لقياس خط الطول عبر بيرو للمساعدة في تحديد ما إذا كانت الأرض في حقيقة الأمر مسطحة إلى حد ما عند القطبين أم لا. بعد الانتهاء من عمله في الأكاديمية، اغتنم لا كوندامين الفرصة لاستكشاف غابة أمريكا الجنوبية، فعاد إلى باريس في عام 1735 ومعه عدد من كرات الصمغ المتخثر من شجرة *الكاوتشوك*

(«الشجرة التي تبكي[1]»). لاحظ أن قبيلة الهنود الأوميجوس في الإكوادور يجمعون عصارة الكاكاو البيضاء اللزجة، ثم يضعونها فوق نار مدخنة ويشكلونها في مجموعة متنوعة من الأشكال لصنع الحاويات والكرات والقبعات والأحذية. ولسوء الحظ، فإن عينات العصارة الخام التي صنعها لا كوندامين، والتي ظلت على هيئة مادة اللاتكس عندما لم تُحفظ عن طريق التدخين، تخمرت في أثناء الشحن ووصلت إلى أوروبا في صورة كتلة كريهة الرائحة عديمة الفائدة.

اللاتكس هو مستحلب غرواني، وهو معلق من جزيئات المطاط الطبيعي في الماء. تنتج الكثير من الأشجار والشجيرات الاستوائية مادة اللاتكس، بما في ذلك نبات *فيكس الاستيكا*[2]، وهو نبات منزلي يُشار إليه عادةً باسم «نبات المطاط». في أجزاء من المكسيك، لا يزال يُحصد اللاتكس بالطريقة التقليدية من أشجار المطاط البرية، *كاستيلا الاستيكا*[3]. جميع أفراد عائلة نبات الفربيون (الصقلاب أو سبيرج) المنتشرة على نطاق واسع من منتجي اللاتكس، بما في ذلك بونسيتيا عيد الميلاد المعروفة، *والفربيون* النضرة الشبيهة بالصبار من المناطق الصحراوية، وشجيرات الفربيون متساقطة الأوراق دائمة

---

(1) ملحوظة المترجمة: يُقال إنها سُمِّيت بهذا الاسم لأنها تخُرج السوائل الثقيلة باستمرار على هيئة قطرات فتبدو وكأنها تبكي. وتعرف أيضًا بشجرة الدموع أو الشجرة الباكية.

(2) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو: Ficus Elastica.

(3) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو: Castilla Elastica

الخضرة، ونبات «سنو أون ذا ماونتن[1]»، وهي الفربيون السنوية سريعة النمو في أمريكا الشمالية. كما تنتج *البارثينيوم أرجينتاتوم*[2] أو *جوايول*[3]، وهي شجيرة تنمو في جنوب الولايات المتحدة وشمال المكسيك، الكثير من المطاط الطبيعي. على الرغم من أنها ليست استوائية ولا من *الفربيون* فإن نبات الهندباء المُستكين البسيط منتِج آخر للّلاتكس. أعظم منتج للمطاط الطبيعي هي شجرة نشأت في منطقة الأمازون في البرازيل، هيفيا برازيلينسيس[4].

مقرون ومفروق[5]

المطاط الطبيعي هو بوليمر من جزيء الأيزوبرين. الأيزوبرين، الذي يحتوي على خمس ذرات كربون فقط، هو أصغر وحدة متكررة لأي بوليمر طبيعي، مما يجعل المطاط أبسط بوليمر طبيعي. أُجريت أولى التجارب الكيميائية على بنية المطاط على يد العالم الإنجليزي الكبير مايكل فاراداي. في أيامنا هذه، يُصنف فاراداي فيزيائيًا أكثر من كونه كيميائيًا، أمّا هو فرأى نفسه «فيلسوفًا طبيعيًّا»، وكانت الحدود بين الكيمياء والفيزياء أقل وضوحًا خلال فترة وجوده. على الرغم من أنه يُذكر أساسًا لاكتشافاته الفيزيائية في الكهرباء

---

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم حرفيًا يعني نبات الثلج على الجبل، وهو اسم يشير إلى عشبة الفربيون المارجيناتا، التي تعرف باسم نبات إكليل العروس.

(2) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو: Parthenium Argentatum

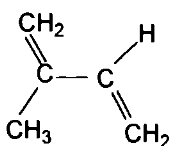
(3) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو: Guayule

(4) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو: Hevea Brasiliensis

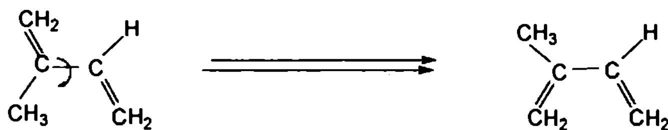
(5) ملحوظة المترجمة: يُعرفان أيضًا بسيس (CIS) وترانس (Trans)

والمغناطيسية والبصريات، فإن إسهاماته في مجال الكيمياء ذات بصمة كبيرة وتضمنت إعداد الصيغة الكيميائية للمطاط بوصفه مضاعف المركب C_5H_8 في عام 1826.

وبحلول عام 1835، تبين أنه يمكن تقطير الأيزوبرين من المطاط، مما يشير إلى أنه كان بوليمرًا مكونًا من تكرار وحدات C_5H_8 أو الأيزوبرين. وبعد عدة سنوات تأكد ذلك عندما جرت عملية بلمرة الأيزوبرين إلى كتلة شبيهة بالمطاط. عادةً ما تُكتب الصيغة البنائية لجزيء الأيزوبرين على هيئة رابطتين مزدوجتين عند ذرات الكربون المتجاورة.



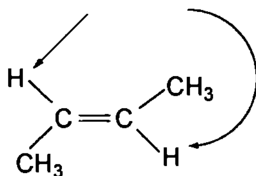
لكن يُمكن تدوير المركب بحريّة حول أي رابطة أحادية بين ذرتي الكربون، كما هو موضح:



لذا فإن هذين الصيغتين البنائيتين -وجميع التقلبات الأخرى المحتملة حول هذه الرابطة الأحادية- لا تزال المركب نفسه. يتشكل المطاط الطبيعي عندما تضاف جزيئات الأيزوبرين معًا من البداية إلى النهاية. تنتج هذه *البلمرة* في المطاط ما يسمى بالروابط المزدوجة المقرونة. توفر الرابطة المزدوجة الصلابة للجزيء من خلال منع

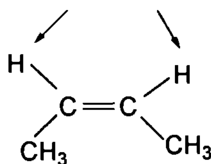
الدوران. والنتيجة هي أن الصيغة البنائية الموجودة على اليسار، كما هو موضح تاليًّا، والمعروفة باسم النموذج المقرون، ليست هي الصيغة البنائية نفسها الموجودة على اليمين، والمعروفة باسم النموذج المفروق.

ذرات الهيدروجين ليست على الجانب نفسه من رابطة الكربون C=C



مفروق

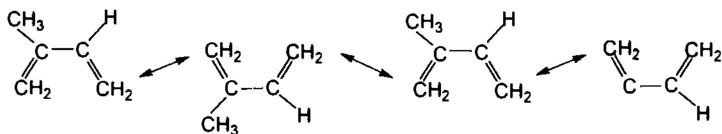
ذرات الهيدروجين على الجانب نفسه من رابطة الكربون C=C



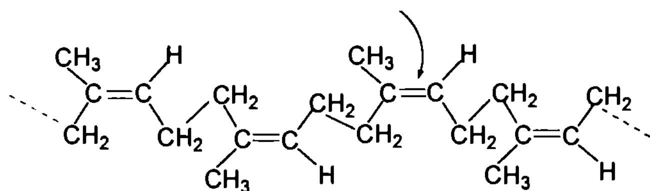
مقرون

في الصيغة البنائية بالنموذج المقرون، تكون ذرتا الهيدروجين (H) (وأيضًا مجموعتا CH3) على الجانب نفسه من الرابطة المزدوجة، أمَّا في الصيغة البنائية للنموذج المفروق فتكون ذرتا الهيدروجين (II) (وأيضًا مجموعتا CH3) على جوانب مختلفة من الرابطة المزدوجة. هذا الاختلاف الذي يبدو صغيرًا في طريقة ترتيب المجموعات والذرات المختلفة حول الرابطة المزدوجة له عواقب هائلة على خصائص البوليمرات المختلفة من جزيء الأيزوبرين. الأيزوبرين هو واحد فقط من الكثير من المركبات العضوية ذات الأشكال المقرونة والمفروقة؛ غالبًا ما يكون لديهم خصائص مختلفة تمامًا.

يظهر فيما يلي أربعة جزيئات من الأيزوبرين تستعد للارتباط من طرف البداية إلى طرف النهاية، كما هو موضح بالأسهم ذات الرأسين، لتكوين جزيء المطاط الطبيعي.

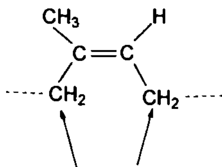


وفي الرسم التالي، تشير الخطوط المتقطعة إلى المكان الذي تستمر فيه السلسلة مع بلمرة المزيد من جزيئات الأيزوبرين.



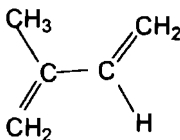
المطاط الطبيعي

تتشكل روابط مزدوجة جديدة عندما تتحد جزيئات الأيزوبرين؛ جميعها بترتيب مقرون بالنظر إلى سلسلة البوليمر، أي أنَّ السلسلة المستمرة من ذرات الكربون التي تصنع جزيء المطاط تقع على الجانب نفسه من كل رابطة مزدوجة.

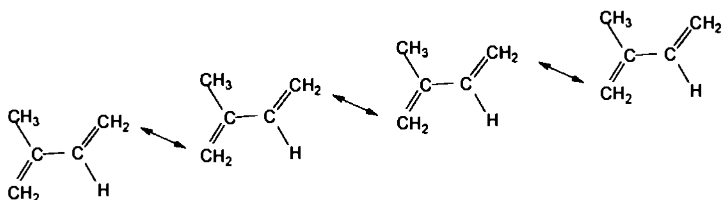


توجد ذرات الكربون في السلسلة المستمرة على الجانب نفسه من هذه الرابطة المزدوجة، لذا فهذا تركيب مقرون.

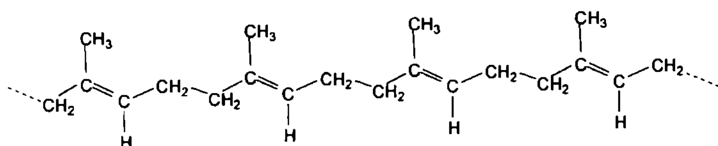
يعد هذا الترتيب المقرون ضروريًا لمرونة المطاط. لكن البلمرة الطبيعية لجزيء الأيزوبرين ليست دائمًا بترتيب مقرون. عندما يكون الترتيب حول الرابطة المزدوجة في البوليمر مفروقًا، يُنتج بوليمر طبيعي آخر له خصائص مختلفة تمامًا عن خصائص المطاط. إذا استخدمنا جزيء الأيزوبرين نفسه ولكننا أدرناه على نحوٍ مختلف إلى الموضع الموضح:

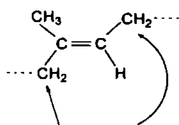


ثم كان لدينا أربعة جزيئات مثل هذه، فإننا نضيفها معًا من البداية إلى النهاية، وتنضم كما هو موضح مرة أخرى من خلال الأسهم ذات الرأسين؛



والنتيجة هي المنتج بترتيب مفروق.





توجد ذرات الكربون في السلسلة المستمرة على جانب مختلف من هذه الرابطة المزدوجة، لذا فهذا تركيب مفروق.

يوجد بوليمر الأيزوبرين المفروق بصورة طبيعية في مادتين، ***البالاتا وجوتا بيرشا***. يُحصل على مادة جوتا بيرشا من اللاتكس من مختلف أفراد عائلة ***سبوتيات***[1]، وبخاصة شجرة ***بالاكيوم***[2] الأصلية في شبه جزيرة الملايو. تصل نسبة بوليمر الأيزوبرين المفروق في مادة جوتا بيرشا إلى ٪80. أما مادة البالاتا، المصنوعة من مادة

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو Sapotaceae

(2) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو Palaquium

اللاتكس المماثلة من شجرة *ميموسوبس جلوبوسا*[1]، موطنها بنما والأجزاء الشمالية من أمريكا الجنوبية، فتحتوي على البوليمر المفروق المطابق. يُمكن صهر كل من مادتي جوتا بيرشا والباللاتا وتشكيلهما، ولكن بعد تعرضهما للهواء لبعض من الوقت، تُصبحان قاسيتين وتُشبهان القرون الصلبة. ونظرًا إلى أن هذا التغيير لا يحدث عند إبقاء هذه المواد تحت الماء، فقد استُخدمت مادة جوتا بيرشا على نطاق واسع طلاءً للكابلات تحت الماء خلال أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين. كما استُخدمت مادة جوتا بيرشا في المهن الطبية وطب الأسنان في الجبائر، والقسطرة، والملاقط، وكمادات للطفح الجلدي، وملء تجاويف الأسنان واللثة.

على الأرجح صارت الخصائص الفريدة لمادتي جوتا-بيرشا والباللاتا موضع تقدير كبير بين لاعبي الجولف. في البداية كانت كرة الجولف الأصلية خشبية، وعادةً صُنعت من خشب الدردار أو خشب الزان. ولكن في وقت ما في أوائل القرن الثامن عشر، اخترع الإسكتلنديون «الكرة الرِّيشيّة»، وهو غلاف خارجي من الجلد محشو بريش الإوز. ويمكن ضرب الكرة الريشية على مسافة تبلغ ضعفي الكرة الخشبية تقريبًا، ولكنها قد تتعرض للبلل ويصير أداؤها سيئًا في الجوِّ الرطب. كان الريش أيضًا يميل إلى الانقسام كما أنه أغلى بعشر مرات من الكرات الخشبية.

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو Mimusops globosa

في عام 1848 أُدخلت كرة الجُوتي الصمغية. مصنوعة من مادة الجوتا-بيرشا التي تُغلى في الماء، وتُشكَّل على هيئة كرة يدويًّا (أو فيما بعد صارت تُشكَّل في قوالب معدنية)، ثم تترك حتى تتصلب، وسرعان ما أصبحت كرة الجوتي منتشرة. لكن ما زال بها قصور. يميل الأيزومر المفروق للأيزوبرين إلى أن يصبح قاسيًا وهشًا مع مرور الوقت، لذلك من المحتمل أن تتكسر كرة الجولف القديمة المصنوعة من مادة الجوتا-بيرشا، في الجو. تغيرت قواعد لعبة الجولف لتسمح للاعبين بمواصلة اللعب إذا حدث ذلك وذلك من خلال الإتيان بكرة جديدة في الموضع الذي سقطت فيه أكبر قطعة من الكرة القديمة. ولوحظ أن الكرات التي تعرضت للتآكل أو للخدش فتصيبها تحززات، تنتقل لمسافة أبعد[1]، لذلك همت المصانع بتصنيع كرات جديدة بها تحززات مسبقًا، مما أدى في النهاية إلى انتشار الكرة ذات التجاويف الموجودة اليوم. وفي نهاية القرن التاسع عشر، غزا الأيزومر المقرون للأيزوبرين أيضًا لعبة الجولف عندما أدخلت كرة ذات ملف مطاطي حول القلب المصنوع من مادة الجوتا-بيرشا؛ ما زال الغطاء حينها مصنوعًا من مادة الجوتا-بيرشا. تُستخدم مجموعة متنوعة من المواد في صناعة كرات الجولف الحديثة؛ وحتى الآن يستخدم الكثير منها المطاط في صناعتها. قد لا يزال من الممكن

(1) ملحوظة المترجمة: لو أنَّ الكرة ملساء، فإن طبقة الهواء المحيطة بها ستصبح متجانسة، وهو ما يُساعد على زيادة مقاومة الهواء. أمَّا التجاويف فتعمل على اضطراب طبقة الهواء فتقل المقاومة وتزداد سرعة الكُرة.

العثور على بوليمر الأيزوبرين المفروق، الذي غالبًا ما يكون من الباللاتا بدلًا من مادة الجوتا-بيرشا، في الأغطية.

مُروِّجو المطاط

ليس مايكل فاراداي وحده الذي وطأ حقل تجربة المطاط. في عام 1823، استخدم تشارلز ماكنتوش، الكيميائي من مدينة جلاسكو، مادة النفتا (منتج يخرج مع النفايات من مصانع الغاز المحلية) لتعمل مذيبًا لتحويل المطاط إلى طبقة مرنة ليُصنع منها الأقمشة. عُرفت المعاطف المقاومة للماء المصنوعة من هذا القماش المعالج باسم «ماكنتوش»، ولا تزال معاطف المطر تسمى هكذا (أو «ماكس») في بريطانيا حاليًا. أدى اكتشاف الماكنتوش إلى زيادة استخدام المطاط في المحركات والخراطيم والأحذية والأحذية الفوقية المطاطية وكذلك القبعات والمعاطف.

أصابت حمى المطاط الولايات المتحدة لفترة في أوائل ثلاثينيات القرن التاسع عشر. ولكن على الرغم من صفات الملابس المطاطية المقاومة للماء، فقد تراجعت شعبية هذه الملابس التي انتشرت مبكرًا عندما أدرك الناس أنها تصبح صلبة وتتفتت في الشتاء وتذوب متحولة إلى فوضى تشبه الصمغ ذات رائحة كريهة في الصيف. انتهت حمى المطاط بمجرد ظهورها تقريبًا، وبدا أن المطاط سيظل مثيرًا للفضول، واستخدامه العملي الوحيد هو أن يُستعمل في صناعة الممحاة. أتت صياغة كلمة *مطاط*[1] في عام 1770 على يد الكيميائي الإنجليزي

(1) ملحوظة المترجمة: الكلمة الإنجليزية Rubber.

جوزيف بريستلي، الذي وجد أن قطعة صغيرة من الكاوتشوك تفرك علامات قلم الرصاص على نحوٍ أكثر فعالية من طريقة الخبز المبلل المستخدمة آنذاك. جاء تسويق المحايات على أنها مطاط هندي في بريطانيا، مما عزز التصور الخطأ بأن المطاط يأتي من الهند.

مع انحسار الجولة الأولى من حمى المطاط، في حوالي عام 1834، شنَّ المخترع رجل الأعمال الأمريكي تشارلز جوديير سلسلة من التجارب التي أصابت جميع أنحاء العالم بفترة أطول بكثير من حمى المطاط. كان جوديير مخترعًا أفضل من كونه رجل أعمال. فلقد ظلَّ في دورة من الاستدانة ورد ذلك الدين طوال حياته، وأفلس عدة مرات، وعرف عنه أنه يشير إلى سجون المدينين باسم «فنادقه». كانت لديه فكرة أنَّه يمكن أن يؤدي خلط مسحوق جاف مع المطاط إلى امتصاص الرطوبة الزائدة التي تجعل المادة عالية اللزوجة في أثناء الجوِّ الحار. وباتباع هذا المنطق، حاول جوديير خلط مواد مختلفة بالمطاط الطبيعي. لكن لا شيء يعمل. وفي كل مرة يبدو أنه قد توصل إلى الصيغة الصحيحة، يثبت الصيف خطأه؛ فالأحذية والملابس المطعمة بالمطاط ذابت في حالة من الفوضى الكريهة كلما ارتفعت درجة الحرارة. اشتكى الجيران من الرائحة المنبعثة من ورشته، مما أدى إلى تراجع مموليه، لكن جوديير استمر فيما يفعل.

يبدو أن أحد خطوط التجريب منحه دفعة من الأمل. عند معالجة المطاط بحمض النيتريك، يتحول إلى مادة تبدو جافة وناعمة، وكان جوديير يأمل أن تظل على حالها حتى عندما تتقلب درجات الحرارة. وجد مرة أخرى داعمين ماليين، تمكنوا من توقيع عقد حكومي

لتصنيع أكياس البريد المطاطية المعالجة بحمض النيتريك. هذه المرة وصل جوديير إلى يقين من أن النجاح سيغدو حليفه في النّهاية. عمل على تخزين أكياس البريد الجاهزة في غرفة مغلقة، وصحب عائلته في عطلة الصيف. ولكن عند عودته وجد أن أكياس البريد التي أعدها قد ذابت في الفوضى المألوفة التي لا شكل لها.

حدث اكتشاف جوديير العظيم في شتاء عام 1839، عندما كان يجري تجارب على مسحوق الكبريت بصفته عامل تجفيف. أسقط عن طريق الخطأ بعض المطاط الممزوج بالكبريت على سطح موقد ساخن. وبطريقة ما، أدرك الإمكانات الموجودة في الكتلة اللزجة المتفحمة التي تشكلت. أصبح الآن على يقين من أن الكبريت والحرارة يغيران المطاط بالطريقة التي كان يأمل في العثور عليها، لكنه لم يعرف حينها مقدار الكبريت أو مقدار الحرارة اللازمين. مع استخدام مطبخ العائلة مختبرًا له، واصل جوديير تجاربه. ضُغطت عينات المطاط المشربة بالكبريت بين حديد ساخن، ثم شويت في الفرن، ثم حُمِّصت على النار، ثم طهيت على البخار فوق الغلاية، ودفنت في الرمال الساخنة.

أخيرًا أثمرت مثابرة جوديير. بعد خمس سنوات توصل إلى عملية أعطت نتائج موحدة: مطاط قوي ومرن وثابت في الجوِّ الحار والبارد. لكن بعد أن أظهر قدرته بصفته مخترعًا من خلال التركيبة الناجحة للمطاط، شرع جوديير في إثبات عدم قدرته بصفته رجل أعمال. فالعائدات التي حصل عليها من براءات اختراع المطاط الكثيرة ضئيلة. لكن أولئك الذين باع لهم الحقوق حصلوا على ثروات منها.

على الرغم من رفعه ما لا يقل عن اثنين وثلاثين قضية إلى المحكمة العليا في الولايات المتحدة وفوزه بها، فإن جوديير استمر في تجربة انتهاك براءات الاختراع طوال حياته. لم يصب قلبه للوصول إلى الغاية في أعمال المطاط التجارية. ما زال مفتونًا بما رأى أنه إمكانات هذه المادة التي لا نهاية لها: الأوراق النقدية المطاطية، والجواهر، والأشرعة، والطلاء، ونوابض السيارات، والسفن، والآلات الموسيقية، والأرضيات، وبدلات الغوص، وطوافات النجاة، التي ظهر الكثير منها لاحقًا.

كذلك لم يكن على المستوى نفسه الذي تطلبه براءات الاختراع الأجنبية. أرسل عينة من المطاط المُصاغ حديثًا إلى بريطانيا ولم يكشف بحكمة عن أي تفاصيل عن عملية الفلكنة. لكن توماس هانكوك، خبير المطاط الإنجليزي، لاحظ وجود آثار مسحوق كبريت على إحدى العينات. وعندما تقدم جوديير أخيرًا بطلب للحصول على براءة اختراع بريطانية، وجد أن هانكوك قد تقدم بطلب للحصول على براءة اختراع بشأن عملية الفلكنة المتطابقة تقريبًا قبل أسابيع فقط. وبعد أن رفض جوديير عرضًا بمنحه نصف حصة في براءة اختراع هانكوك إذا أسقط دعواه، رفع دعوى قضائية وخسر. في خمسينيات القرن التاسع عشر، في معرض عالمي في لندن ومعرض آخر في باريس، عرضت الأجنحة المبنية بالكامل من المطاط المادة الجديدة. لكن جوديير، الذي لم يتمكن من سداد فواتيره عندما ألغيت براءة اختراعه وحقوقه في فرنسا لأسباب فنية، قضى مرة أخرى بعض الوقت في سجن المدينين. ومن الغريب أنه في أثناء

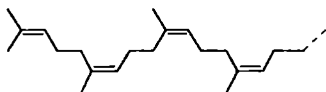
وجوده في سجن فرنسي، حصل جوديير على وسام جوقة الشرف الفرنسي. من المفترض أن الإمبراطور نابوليون الثالث كان ينظر إلى المخترع وليس رجل الأعمال عندما منحه هذه الميدالية.

ما الذي يجعله يتمدد؟

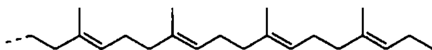
لم يكن لدى جوديير، الذي لم يكن كيميائيًا، أي فكرة عن سبب نجاح الكبريت والحرارة مع المطاط الطبيعي. لم يكن على علم ببنية الأيزوبرين، ولم يدرك أن المطاط الطبيعي هو بوليمر هذا الأيزوبرين، وأنه باستخدام الكبريت، حققت الروابط المتناوبة شديدة الأهمية بين جزيئات المطاط. عندما توفرت الحرارة، شكلت ذرات الكبريت روابط متناوبة ثبتت السلاسل الطويلة من جزيئات المطاط في موضعها. مر أكثر من سبعين عامًا على اكتشاف جوديير المصادف -الذي سُمي عملية الفلكنة على اسم إله النار الروماني فولكان- قبل أن يقترح الكيميائي الإنجليزي صامويل شرودر بيكلز أن المطاط هو بوليمر خطي من الأيزوبرين وفسّرت عملية الفلكنة أخيرًا.

الخصائص المرنة للمطاط هي نتيجة مباشرة لصيغته البنائية. سلاسل ملفات ملفوفة لفًّا عشوائيًّا من بوليمر الأيزوبرين، عند شدها، تستقيم وتصطف في اتجاه متمدد. بمجرد إزالة قوة التمدد، تعمل الجزيئات على إصلاح الملفات. أمّا السلاسل الطويلة المرنة التي هي بالكامل من النوع المقرون لجزيء المطاط الطبيعي فلا تقع متقاربة بدرجة كافية لإنتاج عدد هائل من الروابط المتناوبة الفعالة بين السلاسل، ويمكن للجزيئات المتراصفة أن ينزلق بعضها فوق بعض عندما يحدث للمادة توتر. قارن هذا مع الخطوط المتعرجة شديدة النظام

للأيزومر المفروق بالكامل. يمكن لهذه الجزيئات أن تتلاءم معًا على نحوٍ وثيق، لتشكل روابط متناوبة فعالة تمنع السلاسل الطويلة من الانزلاق بعضها فوق بعض، أي أن التمدد غير ممكن. وبالتالي فإن مادتي الجوتا-بيرشا والباللاتا، والأيزوبرين المفروق، هي كتل صلبة وغير مرنة، في حين أن المطاط، أيزوبرين مقرون، هو بوليمر مرن.

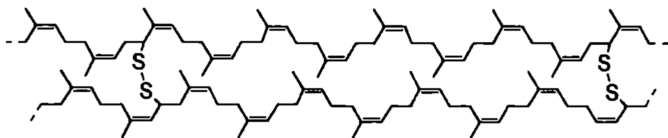


لا يمكن لسلسلة أيزومر المقرونة الممتدة لجزيء المطاط أن تتناسب بشكل وثيق مع جزيء مطاطي آخر، وبالتالي يحدث عدد قليل من الروابط المتناوبة. عند التمدد، تنزلق الجزيئات فوق بعضها بعض.



يمكن أن تتلاءم سلاسل الأيزومرات المتعرجة بشكل وثيق معًا، مما يسمح بوجود الكثير من الروابط المتناوبة بين الجزيئات المتجاورة. وهذا يمنعها من الانزلاق: *الباللاتا وجوتا بيرشا* لا تمتدان.

من خلال إضافة الكبريت إلى المطاط الطبيعي والتسخين، أنشأ جوديير روابط متناوبة تشكلت من خلال تحويل الكبريت إلى روابط الكبريت؛ صار التسخين ضروريًا للمساعدة في تكوين هذه الروابط الجديدة. إنشاء ما يكفي من روابط ثنائي الكبريت هذه يسمح لجزيئات المطاط بالبقاء مرنة ولكنه يعوق انزلاقها فوق بعضها البعض.



جزيئات من المطاط ذات روابط متناوبة من ثنائي الكبريت (-S-S-) تمنع الانزلاق

بعد اكتشاف جوديير، أصبح المطاط المفلكن أحد السلع المهمة في العالم ومادة حيوية في أوقات الحرب. فما لا يقل عن 0.3٪ من الكبريت يغير نطاق درجة الحرارة المحدود لمرونة المطاط الطبيعي فلا يصبح لزجًا في الجو الدافئ وهشًّا في الجو البارد. يحتوي المطاط اللين، المستخدم في صناعة الأربطة المطاطية، على حوالي 1 إلى 3 بالمائة من الكبريت؛ المطاط المصنوع من 3 إلى 10 بالمائة من الكبريت يحتوي على روابط متناوبة أكثر، وأكثر مرونة، ويستخدم في إطارات المركبات. في وجود المزيد من الروابط المتناوبة، يصبح المطاط قاسيًا إلى حدٍ لا يمكن استخدامه في التطبيقات التي تتطلب المرونة، على الرغم من أن الإيبونيت -الذي طوره نيلسون، شقيق جوديير- وهو مادة سوداء شديدة الصلابة تُستخدم عازلًا، ما هو إلَّا مطاط مفلكن يحتوي على 23 إلى 35 بالمئة كبريت.

المطاط يؤثر في التاريخ

ما إن صارت الإمكانات المحتملة للمطاط المفلكن معروفة، حتى تزايد الطلب عليه على نحوٍ هائل. وعلى الرغم من أنَّ الكثير من الأشجار الاستوائية تنتج منتجات شبيهة بالمطاط، فإنه فقط في غابات الأمازون المطيرة احتكرت زراعة أنواع *الهيفيا*. وفي غضون سنوات قليلة، أصبح المجموعة التي تُعرف بأباطرة المطاط يعيشون في ثراء فاحش بفضل عمل العمال المستأجرين، ومعظمهم من السكان الأصليين في منطقة حوض الأمازون. على الرغم من أنَّه لم يُعرف على نحوٍ عام نظام الدين الاستعباديّ، فإنَّه يُجب أن يُنظر إليه على أنَّه شكل قريب إلى حد كبير من مفهوم العبودية. بمجرد توقيع العمال،

يحصلون على ائتمان مسبق لشراء المعدات والإمدادات من صاحب العمل. ثم تزداد ديونهم لأن الأجور لم تغطِ التكاليف بالكامل. عملت آلات حصاد المطاط من شروق الشمس حتى غروبها في الضرب على أشجار المطاط، وجمع اللاتكس، ومعالجة الكتل المتخثرة على نيران كثيفة دخانية، ونقل كرات صلبة من اللاتكس الأسود إلى الممرات المائية للشحن. خلال موسم الأمطار من ديسمبر إلى يونيو، عندما لم يتجمد اللاتكس، بقي العمال في معسكراتهم الكئيبة، تحت حراسة مشرفين وحشيين لم يترددوا في إطلاق النار على الهاربين المحتملين.

أقل من ١٪ من الأشجار في حوض الأمازون كانت أشجارًا مطاطية. ينتج عن أفضل الأشجار فقط حوالي ثلاثة أرطال من المطاط سنويًا. يُمكن للعامل الماهر في طرق الأشجار أن يتمكن من إنتاج حوالي خمسة وعشرين رطلًا من المطاط المعالج بالدخان يوميًا. تُنقل كرات من اللاتكس المعالج من خلال زورق إلى المراكز التجارية وتصل في النهاية إلى مدينة ماناوس، على بعد تسعمائة ميل من المحيط الأطلنطي، على نهر نيجرو، على بعد أحد عشر ميلًا فوق نقطة التقائه بنهر الأمازون. نمت ماناوس وتحولت من بلدة نهرية استوائية صغيرة إلى مدينة مزدهرة عمادها المطاط. أمَّا الأرباح الضخمة التي حققها ما يقرب من مئة من أباطرة المطاط -ومعظمهم من الأوروبيين- وكذلك التفاوت بين أسلوب حياتهم الفاخر والظروف البائسة للعمال الذين يعملون بالسخرة ويعملون في المنبع، فقد كانت بارزة إلى حد الوضوح في مدينة ماناوس. فيُمكن أن تُرى القصور الضخمة، والعربات الخُرافية، والمتاجر الفاخرة تحمل كل

أنواع السلع الغريبة، والحدائق المشذبة، وكل المؤشرات الأخرى على الثروة والازدهار في مدينة ماناوس في ذروة احتكار الأمازون للمطاط من العام 1890 إلى العام 1920. كما ظهرت دار أوبرا عظيمة بوجود أعلى قمة من النجوم من مسارح أوروبا وأمريكا. وفي وقت ما، تميزت مدينة ماناوس بكونها تمتلك أكبر عدد من مشتريات الماس في العالم.

لكن الفقاعة المطاطية كانت على وشك الانفجار. في وقت مبكر من سبعينيات القرن التاسع عشر، ساور بريطانيا القلق بسبب القطع المستمر لأشجار المطاط البرية في الغابات الاستوائية. فقد تُستنزف الإنتاجية المتزايدة من مادة اللاتكس من كل شجرة متساقطة، بما يصل إلى مئة رطل مقارنة بثلاثة أرطال سنويًّا من الطرق. تعرضت شجرة *كاستيا*، وهي نوع ينتج درجة أقل من المطاط الطبيعي المعروف باسم بلاطة البيرو[1]، الذي استُخدم في السلع المنزلية وألعاب الأطفال، إلى خطر الانقراض بسبب هذه الممارسة. في عام 1876، غادر رجل إنجليزي، يُدعى هنري ألكسندر ويكهام، منطقة الأمازون على متن سفينة مستأجرة تحمل سبعين ألف بذرة من نبات *الهيفيا البرازيلية*، التي ثبت فيما بعد أنها المصدر الأكثر للمطاط المصنوع من اللاتكس. كان لدى غابات الأمازون سبعة عشر نوعًا مختلفًا من أشجار *الهيفيا*، ولا يُعرف على وجه اليقين أكان ويكهام يعلم أن البذور الزيتية التي جمعها إنما هي من الأنواع الواعدة أو هل الحظ قد لعب دورًا في عملية تجميع البذور واختيارها. كما أنه ليس

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم باللغة الإنجليزية Peruvian slab.

من الواضح سبب حملة التفتيش التي قام بها المسؤولون البرازيليون لسفينته المستأجرة، إلَّا إذا ظنت السلطات أن شجرة المطاط لا يمكن أن تنمو في أي مكان آخر غير حوض الأمازون.

اهتم ويكهام اهتمامًا كبيرًا بنقل حمولته، لأنه عمل على تعبئة البذور الزيتية بعناية لحمايتها من الإنبات أو أن تصبح زنخة. في وقت مبكر من صباح أحد أيام يونيو عام 1876، وصل إلى منزل عالم النبات البارز جوزيف هوكر، أمين حدائق كيو النباتية الملكية، خارج لندن. أنشئ بيت للإكثار، وُزرعت بذور شجرة المطاط. بعد بضعة أيام، أخذت بعض هذه البذور تُنبت، وكان هذا الشرارة الأولى لإنتاج أكثر من ألف وتسعمائة شتلة من أشجار المطاط التي كان من المقرر إرسالها إلى آسيا، وهي بداية سلالة مطاطية عظيمة أخرى. شُحنت الشتلات الأولى، التي كانت مغلقة في صوبات زجاجية مصغرة وخضعت لعناية فائقة، إلى كولومبو في سيلان (سريلانكا الآن).

لم يكن معروفًا في ذلك الوقت سوى معلومات ضئيلة عن عادات نمو شجرة المطاط أو كيفية تأثير ظروف النمو في آسيا في إنتاج مادة اللاتكس. أعدت شركة كيو جاردنز برنامجًا لدراسة علمية مكثفة لجميع جوانب زراعة نبات الهيفيا البرازيلية، ووجدت أنه، خلافًا للاعتقاد الحالي، يمكن الطرق على الأشجار التي تحصل على عناية فائقة يوميًّا للحصول على مادة اللاتكس. سيتحقق إنتاج الأشجار المزروعة بعد أربع سنوات، في حين كان من المفترض دائمًا أن يكون عمر الشروع في الطّرق على أشجار المطاط البرية حوالي خمسة وعشرين عامًا.

أنشئت أول مزرعتين للمطاط في سيلانجور، فيما يعرف الآن بغرب ماليزيا. في عام 1896 وصل المطاط الماليزي الشفاف ذو اللون الكهرماني لأول مرة إلى لندن. وسرعان ما أنشأ الهولنديون مزارع في جاوة وسومطرة، وبحلول عام 1907 كان لدى البريطانيين حوالي عشرة ملايين شجرة مطاط، مزروعة في صفوف منظمة، منتشرة على مساحة 300 ألف فدان في مالايا وسيلان. وتحقق استيراد آلاف العمال المهاجرين، الصينيين إلى الملايو والقادمين من التاميل إلى سيلان، لتوفير القوة العاملة اللازمة لزراعة المطاط الطبيعي.

وتأثرت إفريقيا أيضًا بالطلب على المطاط، ولا سيما منطقة وسط إفريقيا في الكونغو. خلال ثمانينيات القرن التاسع عشر، اكتشف ليوبولد الثاني ملك بلجيكا أن البريطانيين والفرنسيين والألمان والبرتغاليين والإيطاليين قد قسموا تقسيمًا فعليًّا جزءًا كبيرًا من الغرب والجنوب والشرق في القارة الإفريقية، واستعمروا مناطق في وسط إفريقيا التي لم تكن محط مطمع أو رغبة عالية في امتلاكها، وذلك لأنَّ تجارة العبيد لقرون طويلة أدت إلى انخفاض عدد سكان المنطقة. لتجارة العاج في القرن التاسع عشر تأثير مدمر بالقدر نفسه، إذ عطلت طرق الحياة التقليدية. كانت الطريقة المفضلة لتجار العاج هي أسر السكان المحليين، والمطالبة بالعاج لإطلاق سراحهم، وإجبار قرى بأكملها على القيام بحملات خطيرة لاصطياد الأفيال لإنقاذ عائلاتهم. ومع ندرة العاج وارتفاع أسعار المطاط في جميع أنحاء العالم، تحول التجار إلى طلب المطاط الأحمر من كرمة المطاط البرية التي تنمو في غابات حوض الكونغو على أنَّه فدية.

استغل ليوبولد تجارة المطاط لتمويل أول حكم استعماري رسمي في وسط إفريقيا. واستأجر مساحات شاسعة من الأراضي لشركات تجارية مثل شركة المطاط الهندية الأنجلو-بلجيكية وشركة أنتويرب. يتوقف الربح من المطاط على الحجم. أصبح جمع العصارة إلزاميًا للكونغوليين، واستخدمت القوة العسكرية لإقناعهم بالتخلي عن سبل عيشهم الزراعية من أجل حصاد المطاط. كانت قرى بأكملها تختبئ من البلجيكيين لتجنب الاستعباد. أمَّا العقوبات الوحشية فكانت شائعة. يُمكن لأولئك الذين لم يجمعوا ما يكفي من المطاط أن تقطع أيديهم بالمنجل. وعلى الرغم من بعض الاحتجاجات الإنسانية ضد نظام ليوبولد، سمحت الدول المستعمرة الأخرى للشركات التي تستأجر امتيازات المطاط بممارسة العمل القسري على نطاق واسع.

التاريخ يؤثر في المطاط

على عكس الجزيئات الأخرى، تغير المطاط عبر التاريخ بقدر ما غيره التاريخ. تنطبق كلمة *المطاط* الآن على مجموعة متنوعة من بنيات البوليمر التي أسهمت الأحداث الواقعة في القرن العشرين في سرعة تطويرها. سرعان ما تجاوز العرض من المطاط الطبيعي المزروع في المزارع العرض من المطاط الطبيعي من غابات الأمازون المطيرة، وبحلول عام 1932، جاء 98 في المئة من المطاط من المزارع في جنوب شرق آسيا. صار الاعتماد على هذا المصدر مصدر قلق كبير لحكومة الولايات المتحدة، إذ -على الرغم من برنامج تخزين المطاط- دعت الحاجة إلى الحصول على المزيد من المطاط لقطاع التصنيع والنقل وهما قطاعان متناميان في البلاد. بعد أن أدى الهجوم الياباني

على بيرل هاربر في ديسمبر في عام 1941 إلى دخول الولايات المتحدة في الحرب العالمية الثانية، عيَّن الرئيس فرانكلين ديلانو روزفلت لجنة خاصة للتحقيق في الحلول المقترحة لنقص المطاط الذي كان يلوح في الأفق في زمن الحرب. خلصت اللجنة إلى أنه «إذا فشلنا في تأمين إمدادات كبيرة من المطاط بسرعة، فإن جهودنا الحربية واقتصادنا المحلي سوف يفشلان». رفضت فكرة استخلاص المطاط الطبيعي من مجموعة متنوعة من النباتات المختلفة المزروعة في ولايات مختلفة: نبات رابيت براش في كاليفورنيا، والهندباء في مينيسوتا. على الرغم من أن روسيا استخدمت فعليًّا نباتات الهندباء المحلية مصدرًا طارئًا للمطاط خلال الحرب، فقد شعرت لجنة روزفلت أن إنتاج اللاتكس من مثل هذه المصادر سيكون منخفضًا وأن جودة اللاتكس مشكوك فيها. رأت أن الحل المعقول الوحيد هو تصنيع المطاط الاصطناعي.

كُللت محاولات صنع المطاط الاصطناعي عن طريق بلمرة الأيزوبرين بالفشل حتى الآن. المشكلة هي الروابط المقرونة المزدوجة للمطاط. عندما يُنتج المطاط الطبيعي، تتحكم الإنزيمات في عملية البلمرة بحيث تكون الروابط المزدوجة من النوع المقرون. لم يكن مثل هذا التحكم متاحًا للعملية الاصطناعية، وأتت النتيجة بمنتج فيه الروابط المزدوجة مزيج مرتب عشوائيًّا من كل من الشكل المقرون والشكل المفروق.

ومن المعروف فعليًا أن نوع بوليمر الأيزوبرين المماثل يوجد بصورةٍ طبيعية في مادة اللاتكس المستخرجة من شجرة *السابوديلا* في أمريكا الجنوبية، *أشراس سابوتا*، عُرِفَ باسم «شيكل» واستخدم

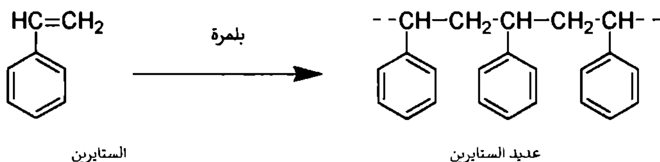
منذ فترة طويلة لصنع العلكة. يبدو أن مضغ العلكة ممارسة قديمة؛ اكتُشف قطع من راتنجات الأشجار الممضوغة مع قطع أثرية تعود إلى عصور ما قبل التاريخ. كان اليونانيون القدماء يمضغون راتنج شجرة المستكة، وهي شجيرة موجودة في أجزاء من الشرق الأوسط وتركيا واليونان، لا تزال تُمضغ حتى اليوم. في نيو إنجلاند، كان الهنود المحليون يمضغون العصارة المتصلبة لشجرة التنوب، وهي عادة تبناها المستوطنون الأوروبيون. لصمغ التنوب نكهة مميزة وقوية. لكنه يحتوي في كثير من الأحيان على شوائب يصعب إزالتها، لذلك أصبح الصمغ المصنوع من شمع البارافين أكثر شعبية بين المستعمرين.

أُحيل الشيكل، الذي يمضغه شعب المايا في المكسيك وغواتيمالا وبليز لمدة ألف عام على الأقل، إلى الولايات المتحدة على يد الجنرال أنطونيو لوبيز دي سانتا آنا، الذي غزا ألامو. وافق سانتا آنا بصفته رئيسًا للمكسيك، في حوالي عام 1855، على صفقات الأراضي التي تخلت فيها المكسيك عن جميع الأراضي الواقعة شمال نهر ريو جراندي؛ ونتيجة لذلك عُزِلَ ونُفِيَ من وطنه. كان يأمل أن يؤدي بيع شيكل -بصفته بديلًا للّلاتكس المطاطي- لصالح المطاط الأمريكي إلى تمكينه من تكوين ميليشيا واستعادة رئاسة المكسيك. لكنه لم يعتمد على الروابط العشوائية المقرونة والروابط المزدوجة المفروقة للشيكل. على الرغم من الجهود الهائلة التي بذلها سانتا آنا وشريكه توماس آدامز، المصور المخترع، لم يكن من الممكن فلكنة الصمغ شيكل إلى بديل مطاطي مقبول، ولا يمكن مزجه بالمطاط مزجًا فعَّالًا. يبدو أن الشيكل ليس له قيمة تجارية حتى رأى آدامز طفلًا يشتري ما قيمته

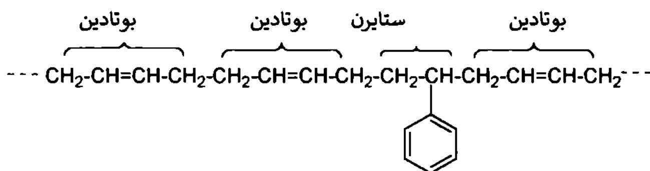
بنس واحد من علكة البارافين في صيدلية، وتذكر أن سكان المكسيك الأصليين كانوا يمضغون الشيكل لسنوات. وقرر أن هذا قد يكون الحل للشيكل المخزن في مستودعه. وسرعان ما أصبحت العلكة المصنوعة من نبات الشيكل، المحلاة بمسحوق السُّكر بنكهات مختلفة، أساسًا لصناعة العلكة المتنامية.

على الرغم من إصدار العلكة للقوات خلال الحرب العالمية الثانية لإبقاء الرجال في حالة تأهب، من الصعب النظر إلى مادة العلكة على أنها مادة إستراتيجية في زمن الحرب. أنتجت الإجراءات التجريبية التي تحاول صنع المطاط من الأيزوبرين بوليمرات تشبه الشيكل فقط، لذلك لا يزال يتعين تطوير مطاط صناعي مصنوع من مواد أخرى غير الأيزوبرين. ومن المفارقات أن التكنولوجيا المستخدمة في العملية التي جعلت هذا ممكنًا جاءت من ألمانيا. خلال الحرب العالمية الأولى، تعرضت الإمدادات الألمانية من المطاط الطبيعي من جنوب شرق آسيا لحصار الحلفاء. واستجابة لذلك، عملت الشركات الكيميائية الألمانية الكبرى على تطوير عدد من المنتجات الشبيهة بالمطاط، وكان أفضلها مطاط ستايرين بوتادين (SBR)، الذي كان له خصائص مشابهة إلى حد كبير لخصائص المطاط الطبيعي.

عُزِلَ الستايرين لأول مرة في أواخر القرن الثامن عشر، من بلسم شجرة الصمغ الحلوة الشرقية، *ليكويدامبر أورينتاليس*، وموطنها جنوب غرب تركيا. وبعد بضعة أشهر، لوحظ أن الستايرين المستخرج سيصبح مثل الهلام، مما يشير إلى أنه دخل في عملية البلمرة.



يُعرف هذا البوليمر اليوم باسم *البوليستارين*[1] ويستخدم في صناعة الأفلام البلاستيكية ومواد التعبئة والتغليف وأكواب القهوة «الستايروفوم». كان الستايرين ـ الذي حُضِّر صناعيًّا في وقت مبكر من عام 1866 ـ والبوتادين هما المادتان الأوليتان اللتان استخدمتهما شركة الكيماويات الألمانية آي جي فاربين في صناعة المطاط الاصطناعي. تبلغ نسبة البوتادين ($CH2=CH-CH=CH2$) إلى الستايرين حوالي ثلاثة إلى واحد في مطاط ستايرين بوتادين؛ على الرغم من أن النسبة الدقيقة والبنية متغيرة، فمن المعتقد أن الروابط المزدوجة تكون على نحوٍ عشوائي مقرونة أو مفروقة.



هيكل جزئي من مطاط الستايرين بوتادين (*SBR*) المعروف أيضًا باسم مطاط الستايرين الحكومي *(GR-S)*. يمكن فلكنة *SBR* بالكبريت.

(1) ملحوظة المترجمة: أي عديد الستايرين.

في عام 1929، دخلت شركة ستاندرد أويل في نيوجيرسي في شراكة مع آي جي فاربين على أساس العمليات المشتركة المتعلقة بالنفط الاصطناعي. وينص جزء من الاتفاقية على أن شركة ستاندرد أويل يتاح لها حق الوصول إلى بعض براءات اختراع آي جي فاربين، بما في ذلك عملية مطاط ستايرين بوتادين. ومع ذلك، لم تكن شركة آي جي فاربين ملزمة بمشاركة تفاصيلها الفنية، وذلك في عام 1938 أبلغت الحكومة النازية الشركة بأنه ستُحرم الولايات المتحدة من أي معلومات عن تكنولوجيا تصنيع المطاط المتقدمة في ألمانيا.

في نهاية المطاف، أصدرت شركة آي جي فاربين براءة اختراع مطاط ستايرين بوتادين لشركة ستاندرد أويل، مع التأكد من أنها تحتوي على معلومات فنية غير كافية ليستخدمها الأمريكيون في صنع المطاط. لكن هذا الحكم ثبت خطأه. حشدت الصناعة الكيميائية في الولايات المتحدة قواها، واستمر تطوير عملية تصنيع المطاط ستايرين بوتادين بسرعة. في عام 1941، كان إنتاج المطاط الصناعي الأمريكي ثمانية آلاف طن فقط، ولكن بحلول عام 1945 توسع إلى أكثر من 800 ألف طن، وهي نسبة كبيرة من إجمالي استهلاك المطاط في البلاد. يُنظر إلى إنتاج مثل هذه الكميات الضخمة من المطاط في مثل هذه الفترة القصيرة من الزمن على أنه ثاني أعظم إنجاز للهندسة (والكيمياء) في القرن العشرين، بعد القنبلة الذرية. وعلى مدى العقود التالية، أُنشئت أنواع أخرى من المطاط الاصطناعي (النيوبرين، ومطاط البوتيل، وبونا-إن). أصبح معنى كلمة *مطاط* يشمل البوليمرات المصنوعة من مواد أولية غير الأيزوبرين ولكن بخصائص ترتبط ارتباطًا وثيقًا بخصائص المطاط الطبيعي.

في عام 1953، عمل كارل زيجلر في ألمانيا وجوليو ناتا في إيطاليا على تحسين إنتاج المطاط الاصطناعي. عمل زيجلر وناتا عملًا مستقلًا على تطوير أنظمة تنتج إما روابط رابطة مزدوجة مفروقة وإمّا مقرونة اعتمادًا تحديدًا على العامل الحفاز المستخدم. أصبح من الممكن الآن إنتاج المطاط الطبيعي صناعيًا. أحدثت ما يسمى بمحفزات زيجلر-ناتا، التي حصل مكتشفاها على جائزة نوبل في الكيمياء في عام 1963، ثورة في الصناعة الكيميائية من خلال السماح بتخليق البوليمرات التي يمكن التحكم في خصائصها بدقة. وبهذه الطريقة، يمكن صنع البوليمرات المطاطية التي تكون أكثر مرونة، وأقوى، وأكثر متانة، وأكثر صلابة، وأقل عرضة للتأثر بالمذيبات أو الأشعة فوق البنفسجية، وذات مقاومة أكبر للتشقق والحرارة والبرودة.

تشكَّل عالمنا من المطاط. كان لجمع المواد الخام للمنتجات المطاطية تأثير هائل في المجتمع والبيئة. على سبيل المثال، قطع أشجار المطاط في حوض الأمازون مجرد حلقة واحدة في حلقات استغلال موارد الغابات الاستوائية المطيرة وتدمير بيئة فريدة من نوعها. لم تتغير المعاملة المخزية للسكان الأصليين في المنطقة؛ يواصل المنقبون والمزارعون العاملون على زراعة الكفاف اليوم غزو الأراضي القديمة لأحفاد السكان الأصليين الذين حصدوا مادة اللاتكس. ترك الاستعمار الوحشي للكونغو البلجيكية إرثًا من عدم الاستقرار والعنف والصراع لا يزال حاضرًا في المنطقة حتى اليوم. لا تزال الهجرات الجماعية للعمال إلى مزارع المطاط في آسيا منذ أكثر من قرن من الزمان تؤثر في الوجه العرقي والثقافي والسياسي لدولتي ماليزيا وسريلانكا.

لا يزال عالمنا يتشكل بالمطاط. من دون المطاط، لم تكن التغييرات الهائلة التي أحدثتها الميكنة ممكنة. تتطلب الميكنة مكونات مطاطية طبيعية أو من صنع الإنسان أساسية للآلات، والأحزمة، والجوانات، والمفاصل، والصمامات، والحلقات الدائرية، والغسالات، والإطارات، والأختام، وغيرها الكثير. غيرت وسائل النقل المميكنة -السيارات والشاحنات والسفن والقطارات والطائرات- الطريقة التي ننقل بها الأشخاص والبضائع. غيرت ميكنة الصناعة الوظائف التي نقوم بها والطريقة التي نقوم بها بهذه الوظائف. سمحت ميكنة الزراعة بنمو المدن وغيرت مجتمعنا من الريف إلى الحضر. ولعب المطاط دورًا أساسيًا في كل هذه الأحداث.

قد يتشكل استكشافنا لعوالم المستقبل من خلال المطاط، لأن هذه المادة -وهي جزء أساسي من المحطات الفضائية والبدلات الفضائية والصواريخ والمكوكات- تمكننا الآن من استكشاف عوالم خارج عالمنا. لكن فشلنا في دراسة خصائص المطاط المعروفة منذ زمن طويل قد حد في الواقع من اندفاعنا نحو النجوم. على الرغم من معرفة ناسا المتطورة بتكنولوجيا البوليمر، فإن افتقار المطاط إلى مقاومة البرد -وهي سمة معروفة لدى لا كوندامين، وماكنتوش، وجوديير- أدى إلى الحكم بالفشل على مكوك الفضاء *تشالنجر* في صباح بارد من شهر يناير في عام 1986. كانت درجة حرارة الإطلاق 36 درجة فهرنهايت، 15 درجة مئوية أقل من أشد درجة إطلاق برودة في السابق. في المفصل الخلفي للمحرك الصاروخي الصلب لنظام المكوك، ربما كانت درجة حرارة الحلقة المطاطية الموجودة في الظل على

الجانب البعيد عن الشمس باردة تصل إلى 28 درجة فهرنهايت. عند درجة الحرارة شديدة البرودة تلك، فقد مرونته الطبيعية، وبسبب عدم عودته إلى شكله الصحيح، أدى إلى فشل سداد الضغط. تسبب تسرب غاز الاحتراق الناتج في انفجار أودى بحياة رواد فضاء *تشالنجر* السبعة. وهذا مثال حديث إلى حد ما لما يمكن أن نسميه الآن عامل أزرار نابوليون، وهو إهمال خاصية جزيئية معروفة تكون مسؤولة عن حدث مأساوي كبير: «*كل تلك البلية لغياب الحلقة الدّائرية.*»

الفصل التاسع

الأصباغ

تلون الأصباغ ملابسنا، ومفروشاتنا، وإكسسواراتنا، بل وشعرنا. وعلى الرغم من أننا نبحث عن درجة لون مختلفة، أو درجة أكثر لمعانًا، أو تظليل أكثر نعومة، أو طابع لوني داكن أكثر، فإننا نادرًا ما تمر بخاطرنا فكرة عابرة عن مجموعة المركبات المتنوعة التي تتيح لنا الانخراط في شغفنا بالألوان. تتكون الأصباغ والمواد الصَّابغة من جزيئات طبيعية أو من صنع الإنسان تعود أصولها إلى آلاف السنين. أدى اكتشاف الأصباغ واستغلالها إلى إنشاء أكبر الشركات الكيميائية ونموها في العالم اليوم.

لعل عملية استخلاص المواد الصابغة وتحضيرها، كما ورد في الأدب الصيني منذ عام 3000 قبل الميلاد، هي أول محاولات الإنسان لممارسة الكيمياء. في أوائل المحاولات كانت النباتات المصدر الرئيس للحصول على الصبغات: جذورها، أو أوراقها، أو لحاؤها، أو ثمارها. أمَّا إجراءات الاستخراج جيّدًا فكانت ثابتة ونوعًا ما معقدة. لم تلتصق معظم المواد التصاقًا دائمًا بالألياف غير المعالجة؛ لأنه وجب أوّلًا معالجة الأقمشة باستخدام مُرسخات ألوان، وهي مركبات تساعد في تثبيت اللون على الألياف. على الرغم من أن الأصباغ في أول الأمر تزايد الطلب عليها وكانت ذات قيمة، فإن استخدامها

شابه بعض المشكلات. في كثير من الأحيان لم يكن الحصول عليها سهلًا، ونطاقها محدود، ولم تكن الألوان قوية أو تتلاشى بسرعة إلى ظلال باهتة كئيبة في ضوء الشمس. نادرًا ما كانت الأصباغ المبكرة ثابتة اللون، بل إنها تخرج عن الألياف عقب كل غسلٍ.

الألوان الأساسية

أمَّا اللون الأزرق، على وجه التحديد، فهو اللون الذي ازداد الطّلب عليه زيادة هائلة. بالمقارنة مع اللونين الأحمر والأصفر، فإن درجات اللون الأزرق ليست شائعة في النباتات، لكن من المعروف أن نباتًا واحدًا، وهو *إنديجوفيرا تينكتوريا*[1]، وهو عضو في عائلة البقوليات، هو مصدر رئيس لصبغة النيلة الزرقاء. يصل طول نبات *إنديجوفيرا تينكتوريا*، الذي سُمِّي هكذا على يد عالم النبات السويدي الشهير لينيوس، إلى ستة أقدام في المناخات الاستوائية وشبه الاستوائية. تُنتج صبغة النيلة أيضًا في المناطق الأكثر اعتدالًا من نبات *إيزاتس تينكتوريا*[2]، وهو أحد أقدم مصانع الأصباغ في أوروبا وآسيا، المعروف باسم «النيلج» في بريطانيا و«الباستيل» في فرنسا. عُرف ماركو بوبو، في رحلاته قبل سبعمائة عام، بأنه رأى اللون النيلي يُستخدم في وادي السند؛ ومن هنا جاء اسم *النيلي* لكن اللون النيلي كان منتشرًا أيضًا في أجزاء أخرى كثيرة من العالم، بما في ذلك جنوب شرق آسيا وإفريقيا، قبل زمن ماركو بولو بوقت طويل.

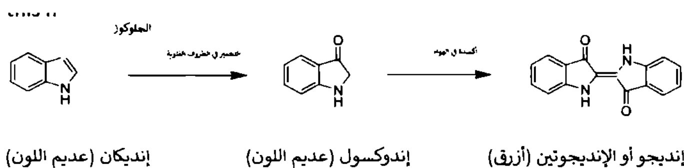
---

(1) Indigofera tinctoria

(2) Isatis tinctoria

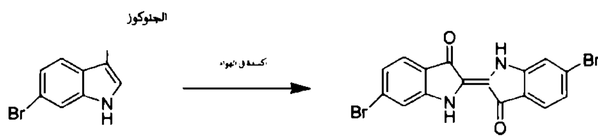
لا يبدو أن الأوراق الطازجة للنباتات المنتجة لصبغة النيلة زرقاء اللون. ولكن بعد التخمر في الظروف القلوية ومن ثم الأكسدة يظهر اللون الأزرق. اكتشفت هذه العملية في كثير من الثقافات حول العالم. ربما عندما نُقعت أوراق النبات في البول عن طريق الخطأ أو غُطيت بالرَّماد، ثم تُركت لتتخمر. في هذه الظروف تتهيأ الحالة اللازمة لإنتاج اللون الأزرق الكثيف لصبغة النيلة وتصبح متوافرة.

المركب الأولي للنيلي، الموجود في جميع النباتات المنتجة لصبغة النيلة، هو *إنديكان* وهو جزيء يحتوي على وحدة الجلوكوز مرفقة. الإنديكان في حد ذاته عديم اللون، ولكن التخمر في الظروف القلوية يفصل وحدة الجلوكوز لإنتاج جزيء *الإندوكسول*. يتفاعل الإندوكسول مع الأكسجين الموجود في الهواء لينتج النيلي أزرق اللون (أو الإنديجوتين كما يسمي الكيميائيون هذا الجزيء).



عُرفت صبغة اللون النيلي بقيمتها النفيسة، ولكن أعلى الأصباغ القديمة ثمنًا كان جزيئًا مشابهًا إلى حدٍ كبير يُعرف باسم صبغة الأرجوان الصوري. في بعض الثقافات، كان ارتداء اللون الأرجواني مقصورًا بموجب القانون على الملك أو الإمبراطور؛ ومن هنا جاء الاسم الآخر لهذه الصبغة -وهو الأرجوان الملكي- وعبارة «وُلِدَ من

نسل أرجوانيّ[1]» تشير ضمنًا إلى نسب أرستقراطي. وحتى يومنا هذا، لا يزال اللون الأرجواني يُنظر إليه على أنه لون إمبراطوري، ورمز للملكية. ورد ذكره في كتابات يعود تاريخها إلى حوالي عام 1600 قبل الميلاد، وهو مشتق ثنائي برومو من اللون النيلي؛ أي جزيء النيلي الذي يحتوي على ذرتين من البروم. يُحصل على الأرجواني الصوري من مخاط غير شفاف تفرزه أنواع مختلفة من الرخويات البحرية أو الحلزون، وأكثرها شيوعًا من جنس *الموريكس*. المركب الذي يفرزه الرخويات، كما هو الحال في النيلي، مرتبط بوحدة الجلوكوز. فقط من خلال الأكسدة في الهواء يتطور اللون اللامع للأرجواني الصوري.



أرجواني صوري (جزيء ثنائي بروموينديجو) مركب يفرزه الرخويات (جزيء البرومينديكان)

نادرًا ما يوجد البروم في النباتات أو الحيوانات البرية، ولكن نظرًا إلى وجود الكثير من البروم، وكذلك الكلور واليود، في مياه البحر، فليس من المفاجئ العثور على البروم مدمجًا في مركبات من مصادر بحرية. ولعل ما يثير الدهشة هو التشابه بين هذين الجزيئين، نظرًا إلى اختلاف مصدريهما تمامًا، أي اللون النيلي من النبات والأرجواني صوري من الحيوان.

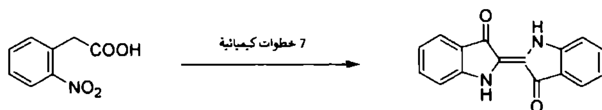
(1) ملحوظة المترجمة: العبارة الإنجليزية هي: Born to the purple.

تنسب الأساطير الفضل في اكتشاف اللون الأرجواني الصُوري إلى البطل اليوناني هرقل، الذي لاحظ أن فم كلبه أصبح ملطخًا بطبقة قيحية داكنة اللون مثل نتاج طحن الحيوان لبعض المحار. يُعتقد أن تصنيع الصبغة بدأ في مدينة صور الساحلية على البحر الأبيض المتوسط في الإمبراطورية الفينيقية (الآن جزء من لبنان). تطلب ما يقدر بتسعة آلاف من المحار لإنتاج جرام واحد من الأرجواني الصوري. لا يزال من الممكن العثور على أكوام من الأصداف من جنس *موريكس براندريس وبوربورا هيماستوما*[1] على شواطئ صور وصيدا، وهي مدينة فينيقية أخرى عمل أهلها في تجارة الأصباغ القديمة.

للحصول على الصبغة، فتح العمال صدفة هذه الرخويات، وباستخدام عصا حادة، استخرجوا غدة صغيرة تشبه الوريد. رُطبت قطعة من القماش بمحلول معالج من هذه الغدة، ثم تتعرض للهواء لينتج اللون. في البداية، تُحوِّل الصبغة القماش إلى لون أصفر مائل إلى الأخضر الشاحب، ثم يتحول تدريجيًّا إلى اللون الأزرق، ثم إلى اللون الأرجواني الداكن. صبغ اللون الأرجواني الصوري أردية أعضاء مجلس الشيوخ الروماني والفراعنة المصريين والنبلاء والملوك الأوروبيين. تزايد الطلب عليه بعد ذلك، وبحلول عام 400 بعد الميلاد، تعرضت أنواع المحار التي أنتجته إلى خطر الانقراض.

(1) ملحوظة المترجمة: الاسمان العلميان هما على الترتيب: Murex brandaris and Purpura haemastoma

صُنِّع اللون النيلي والأرجواني الصوري بهذه الطرق التي تتطلب عمالة كثيفة لعدة قرون. لم يزل الأمر كذلك حتى نهاية القرن التاسع عشر عندما أصبح الشكل الاصطناعي من النيلي متاحًا. في عام 1865، انخرط الكيميائي الألماني يوهان فريدريش فيلهلم أدولف فون باير في دراسة بنية النيلي. بحلول عام 1880 وجد طريقة لتصنيعه في المختبر من مواد أولية يسهل الحصول عليها. وعلى الرغم من ذلك، استغرق الأمر سبعة عشر عامًا أخرى، قبل أن يصبح النيلي الاصطناعي، الذي أعد بطريقة مختلفة وعملت على تسويقه شركة الكيماويات الألمانية باسف، قابلًا للتطبيق تجاريًّا.



تطلب تصنيع باير الأول للنيلي سبعة تفاعلات كيميائية منفصلة.

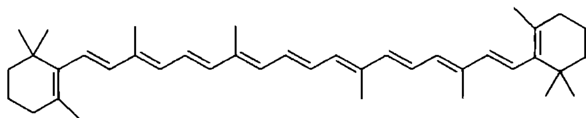
هذه بداية تراجع صناعة النيلي الطبيعية الضخمة، وهو التغيير الذي غيّر أسلوب حياة الآلاف الذين تعتمد سبل عيشهم على زراعة النيلي الطبيعي واستخراجه. أمَّا الآن، فيبلغ الإنتاج السنوي أكثر من أربعة عشر ألف طن مما يجعل النيلي الاصطناعي صبغة اصطناعية رئيسة. على الرغم من أن النيلي الاصطناعي (مثل المركب الطبيعي) يُعرف عنه افتقاره إلى ثبات اللون، فهو يستخدم غالبًا لصبغ الجينز الأزرق، حيث إن هذه الخاصية مزية في عالم الموضة. يُصنَّع الآن الملايين من السراويل الجينز من قماش الدنيم المصبوغ باللون النيلي الباهت مسبقًا. كما أنتج الأرجوان الصوري، وهو مشتق ثنائي برومو

من النيلي، صناعيًّا من خلال عملية مشابهة لتخليق النيلي، على الرغم من أن الأصباغ الأرجوانية الأخرى قد حلت محله.

الأصباغ هي مركبات عضوية ملونة تُدمج في ألياف المنسوجات. يسمح التركيب الجزيئي لهذه المركبات بامتصاص أطوال موجية معينة من الضوء من الطيف المرئي. يعتمد اللون الفعلي للصبغة التي نراها على الأطوال الموجية للضوء المرئي الذي ينعكس بدلًا من أن تمتصه. فإذا امتصت جميع الأطوال الموجية، فلا ينعكس أي ضوء، فيصبح لون القماش المصبوغ الذي نراه باللون أسود؛ إذا لم تُمتص أي أطوال موجية، ينعكس كل الضوء ويصبح اللون الذي نراه أبيض. إذا امتصت الأطوال الموجية للضوء الأحمر فقط، فإن الضوء المنعكس هو اللون المكمل الأخضر. العلاقة بين الطول الموجي الممتص والصيغة البنائية للجزيء تشبه إلى حد كبير امتصاص منتجات الوقاية من الشمس للأشعة فوق البنفسجية، أي أنها تعتمد على وجود روابط مزدوجة بالتناوب مع روابط أحادية. ولكن لكي يصبح الطول الموجي الممتص في نطاق الضوء المرئي بدلًا من الأشعة فوق البنفسجية، يجب أن يُوجد عدد أكبر من هذه الروابط المزدوجة والأحادية المتناوبة. يظهر ذلك في الجزيء (بيتا كاروتين[1] فيما يلي)، وهو المسؤول عن اللون البرتقالي للجزر والقرع واليقطين.

---

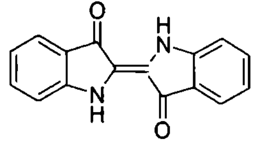
(1) ملحوظة المترجمة: صبغة البيتا كاروتين هي التي يعمل الجسم على تحويلها إلى فيتامين أ، وهذا الفيتامين ضروري لصحة الجلد والأغشية المخاطية وجهاز المناعة وصحة النظر.



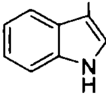
-كاروتين (برتقالي)

ويشار إلى هذه الروابط المزدوجة والأحادية المتناوبة، كما هو موضح في الكاروتين، على أنها *مترافقة*. لدى كاروتين بيتا أحد عشر من هذه الروابط المزدوجة المتناوبة. يمكن تمديد الترافق وتغيير الطول الموجي للضوء الممتص، عندما تكون ذرات مثل الأكسجين أو النيتروجين أو الكبريت أو البروم أو الكلور أيضًا جزءًا من النظام المتناوب.

يحتوي جزيء الإنديكان، المستخرج من نباتات النيلة والخشب، على بعض من الروابط المتناوبة ولكنه ليس كافيًّا ليبدو ملونًا. يحتوي جزيء النيلي، على الرغم من ذلك، على ضعف العدد الروابط الأحادية والمزدوجة المتناوبة الموجودة في جزيء الإنديكان، كما أنه يحتوي على ذرات أكسجين كجزء من النظام المتناوب. وبالتالي فهو يمتلك ما يكفي لامتصاص الضوء من الطيف المرئي، ولهذا السبب يتميز اللون النيلي بدرجة عالية من اللون.



إنديجو (أزرق)



إنديكان (عديم اللون)

تُستخدم المعادن المطحونة طحنًا ناعمًا والمركبات غير العضوية الأخرى، وهذا ما يُميزها عن الأصباغ العضوية، في إنتاج اللون منذ العصور القديمة. ولكن على الرغم من أن لون هذه *الأصباغ* -الموجودة في رسومات الكهوف، وزخارف المقابر، واللوحات الجدارية، واللوحات الجصية- يرجع أيضًا إلى امتصاص أطوال موجية معينة من الضوء المرئي، فهذا لا علاقة له بالروابط المزدوجة المتناوبة.

تأتي الصبغتان القديمتان الشائعتان اللتان استخدمتا للحصول على درجات اللون الأحمر من مصدرين مختلفين تمام الاختلاف لكن، وهو ما يثير الدهشة، متشابهان في الصيغة البنائية. تأتي أولى الصبغتين من جذر نبات الفوة. نباتات الفوة، التي تنتمي إلى عائلة *روبياسيا*[1]، تحتوي على صبغة تسمى أليزارين. على الأرجح استُخدم الأليزارين لأول مرة في الهند، ولكنه كان معروفًا أيضًا في بلاد فارس ومصر قبل فترة طويلة من استخدام اليونانيين والرومان القدماء له. هو صبغة مُرسّخة لاذعة، أي صبغة تحتاج إلى مادة كيميائية أخرى -أيون معدني- لتثبيت اللون على القماش. يمكن الحصول على ألوان مختلفة

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو Rubiaceae

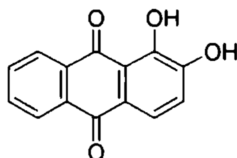
عن طريق معالجة القماش أولًا بمحاليل ملح معدنية مختلفة. ينتج أيون الألومنيوم بصفته مادة مرسخة لونًا أحمر ورديًا؛ مادة المغنيسيوم المرسخة تعطي اللون البنفسجي؛ والكروم يعطي البنفسجي البني؛ والكالسيوم أرجواني محمر. يُحصل على اللون الأحمر الساطع عندما تنتج أيونات الألومنيوم والكالسيوم في المادة المرسخة عن استخدام الطين مع جذر الفوة المجفف والمكسر والمسحوق في عملية الصبغ. من المحتمل أن تكون هذه هي تركيبة الصبغة/ المرسِخ التي استخدمها الإسكندر الأكبر في عام 320 قبل الميلاد، في خدعة لجذب عدوه إلى معركة غير ضرورية. أمر الإسكندر جنوده بصبغ زيهم الرسمي ببقع كبيرة من صبغة حمراء اللون. فأتت النتيجة أنَّ الجيش الفارسي المهاجم، على افتراض أنه كان يعتدي على الناجين الجرحى ويتوقع مقاومة قليلة، هُزم من دون عناء على يد العدد الأصغر من جنود الإسكندر، وإذا كانت القصة صحيحة، فالهزيمة على يد جزيء الأليزارين.

لطالما ارتبطت الأصباغ بالزي العسكري. فالمعاطف الزرقاء التي قدمتها فرنسا للأمريكيين خلال الثورة الأمريكية كانت مصبوغة بالنيلي. استخدم الجيش الفرنسي صبغة الأليزارين، المعروفة باسم الأحمر التركي، إذ إنها زُرعت لعدة قرون في شرق البحر الأبيض المتوسط، على الرغم من أنها على الأرجح نشأت في الهند وانتقلت تدريجيًا غربًا عبر بلاد فارس وسوريا إلى تركيا. أدخل نبات الفوة إلى فرنسا في عام 1766، وبحلول نهاية القرن الثامن عشر أصبح أحد أهم مصادر ثروة البلاد. ربما بدأ الدعم الحكومي للصناعة مع صناعة

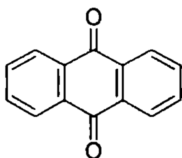
الأصباغ: أصدر لويس فيليب الفرنسي مرسومًا يقضي بأن يرتدي جنود الجيش الفرنسي سراويل مصبوغة باللون الأحمر التركي. قبل أكثر من مئة عام، حظر جيمس الثاني ملك إنجلترا تصدير الأقمشة غير المصبوغة لحماية الصباغين الإنجليز.

لم تؤدِ عملية الصباغة بالأصباغ الطبيعية دائمًا إلى نتائج ثابتة وكانت في كثير من الأحيان شاقة وتستغرق وقتًا طويلًا. لكن الأحمر التركي، عندما يُحصل عليه، كان أحمر جميلًا ولامعًا وثابت اللون إلى حدٍ كبير. حينها لم تُفهم كيمياء العملية، واليوم تبدو بعض المراحل داخل تلك العملية غريبة إلى حد ما وربما ليست ضرورية. من بين الخطوات العشر الفردية المسجلة في كتيبات الصباغين في ذلك الوقت، تكرار الكثير منها أكثر من مرَّة. في مراحل مختلفة، يُغلى القماش أو الخيوط في البوتاس وفي محلول الصابون؛ يُثبت بزيت الزيتون والشب والقليل من الطباشير. يعالج بروث الغنم، بمادة دابغة، وبملح القصدير؛ ويشطف طوال الليل في ماء النهر، بالإضافة إلى صبغه بالفوة.

نعرف الآن بنية جزيء الأليزارين المسؤول عن اللون الأحمر التركي ودرجات اللون الأخرى من نبات الفوة. أليزارين هو مشتق من الأنثراكينون، المركب الأساس لعدد من مواد التلوين الموجودة بصورةٍ طبيعية. وُجِدَ أكثر من خمسين مركبًا يعتمد على الأنثراكينون في الحشرات والنباتات والفطريات والأشنات. وكما هو الحال مع اللون النيلي، فإن مادة الأنثراكينون الأساسية ليست ملونة. لكن مجموعتي الهيدروكسيل (OH) الموجودتين على الحلقة اليمنى في الأليزارين، مع روابط مزدوجة وأحادية متناوبة في بقية الجزيء، توفران ترافقًا كافيًا للأيزارين لامتصاص الضوء المرئي.

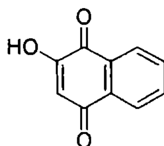


الأليزارين (أحمر)

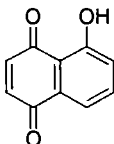


الأنثراكينون (عديم اللون)

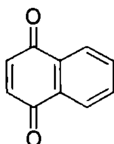
تتميز مجموعات الهيدروكسيل (OH) بأهميتها لإنتاج اللون في هذه المركبات أكبر أهمية من عدد الحلقات. يظهر هذا أيضًا في المركبات المشتقة من النفثوكوينون، وهو جزيء ذو حلقتين مقارنة بالأنثراكينون ذي الحلقات الثلاث.



اللوسون
(أحمر برتقالي)

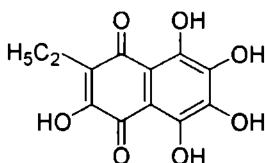


جوجلون
(بني)



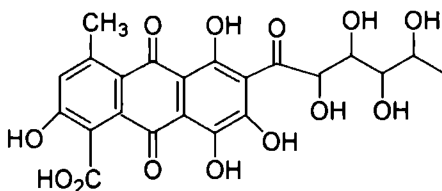
النفثوكوينون
(عديم اللون)

جزيء النفثوكوينون عديم اللون؛ من المشتقات الملونة من النفثوكوينون هو الجوجلون الموجود في الجوز، ***واللوسون*** وهي مادة التلوين في الحناء الهندية (التي تستخدم لعدة قرون صبغة للشعر والجلد). يمكن أن تحتوي النفثوكوينونات الملونة على أكثر من مجموعة هيدروكسيل (OH) واحدة، كما هو موضح في مركب ***الإشينوكروم*** وهو صبغة حمراء موجودة في حيوانات دولار الرمل وقنافذ البحر.



الإشينوكروم (أحمر)

يوجد مشتق آخر من الأنثراكينون، يشبه كيميائيًّا الأليزارين، وهو حمض الكارمينيك، جزيء الصبغة الرئيس في الصبغة القرمزية، الصبغة الحمراء الأخرى المعروفة من العصور القديمة. يُحصل عليه من أجسام الخنفساء القرمزية الأنثوية المسحوقة، داكتيلوبيوس كوكوس[1]، ويحتوي حمض الكارمينيك على مجموعات هيدروكسيل (OH) كثيرة.



حمض الكارمينيك (قرمزي)

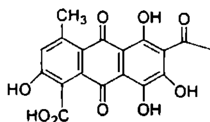
كان اللون القرمزي صبغة العالم الجديد، استخدمها الأزتيك قبل وقت طويل من وصول الغازي الإسباني هيرنان كورتيس في عام 1519. أدخل كورتيس الصبغة القرمزية إلى أوروبا، ولكن مصدرها ظل سرًّا حتى القرن الثامن عشر، من أجل الحفاظ على الاحتكار

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي Dactylopius coccus

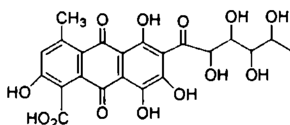
الإسباني على هذه الصبغة القرمزية الثمينة. وفي وقت لاحق، أصبح الجنود البريطانيون يُعرفون باسم «أصحاب المعاطف الحمراء» نسبة إلى ستراتهم المصبوغة باللون القرمزي. ما زالت العقود المبرمة مع الصباغين الإنجليز لإنتاج القماش بهذا اللون المميز سارية في بداية القرن العشرين. ومن المفترض أن هذا مثال آخر على الدعم الحكومي لصناعة الأصباغ، إذ كانت المستعمرات البريطانية في جزر الهند الغربية في ذلك الوقت من كبار منتجي الصبغة القرمزية.

كان اللون القرمزي، المعروف أيضًا باسم الكارمين، باهظ الثمن. استغرق الأمر حوالي سبعين ألف جسم حشري لإنتاج رطل واحد فقط من الصبغة. الخنافس القرمزية الصغيرة المجففة تشبه الحبوب قليلًا؛ ومن هنا كان اسم «الحبة القرمزية» يطلق غالبا على محتويات الحقائب من المواد الخام التي تُشحن من مزارع الصبار في المناطق الاستوائية في المكسيك، وأمريكا الوسطى والجنوبية لاستخراجها في إسبانيا. اليوم المنتج الرئيس للصبغة هو مدينة البيرو، التي تنتج حوالي أربعمائة طن سنويًا، أي حوالي 85 بالمائة من الإنتاج العالمي.

لم يكن الأزتيك هم الشعب الوحيد الذي استخدم مستخلصات الحشرات كأصباغ. بل إن المصريين القدماء لوّنوا ملابسهم (ولوَّنت النساء شفاههن) بالعصارة الحمراء المستخرجة من أجسام حشرة القرمز (*كوكوس إيلشيس*). الصبغة الحمراء لهذه الخنفساء هي في الأساس حمض الكيرميزك، وهو جزيء يشبه إلى حد كبير نظيره في العالم الجديد وهو حمض الكارمينيك المستخرج من دود القرمز. ولكن على عكس حمض الكارمينيك، لم يستخدم حمض الكيرميزك على نطاق واسع.



حمض الكيرميزك (أحمر لامع)



حمض الكارمينيك (قرمزي)

على الرغم من أن حمض الكيرميزك والقرمزي والأرجواني الصوري مشتقون من الحيوانات، فإن النباتات كانت توفر معظم المواد الأولية للصباغة. اللون الأزرق من نبات النيلي والنيلج، والأحمر من نبات الفوة، هما الصبغتان المعياريتان. واللون الأساس الثالث المتبقي هو درجة الأصفر البرتقالي الساطع من زعفران *كروكاس ساتيفوس*[1]. يحُصل على الزعفران من مياسم الزهور، وهو الجزء الذي يلتقط حبوب اللقاح للمبيض. يعود أصل هذا الزعفران إلى شرق البحر الأبيض المتوسط، وقد استخدمته الحضارة المينوية القديمة في جزيرة كريت منذ عام 1900 قبل الميلاد. عُثِرَ عليه أيضًا على نطاق واسع في جميع أنحاء الشرق الأوسط، وكان يستخدم في العصر الروماني تابلًا ودواء وعطرًا بالإضافة إلى صبغة.

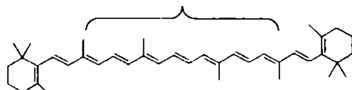
بعد انتشاره على نطاق واسع في أوروبا، تراجعت زراعة الزعفران خلال الثورة الصناعية لسببين. أولًا، كان لا بد من إزالة المياسم الثلاث الموجودة في كل زهرة تقطف يدويًا على حدة. تطلبت هذه العملية عمالة هائلة. وكان العمال في هذا الوقت قد انتقلوا إلى حد

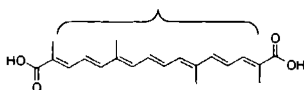
(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو Crocus sativus

كبير إلى المدن للعمل في المصانع. أما السبب الآخر فهو كيميائي. على الرغم من أن الزعفران ينتج درجة لونية لامعة وجميلة، وبخاصة عند وضعه على الصوف، فإن اللون لم يكن متماسكًا على وجه التحديد. عندما تطورت الأصباغ التي يصنعها الإنسان، تلاشت صناعة الزعفران التي كانت صناعة ضخمة في السابق.

لا يزال الزعفران يزرع في إسبانيا، حيث لا يزال تُقطف كل زهرة يدويًّا بالطريقة التقليدية في الوقت القديم المعتاد، بعد شروق الشمس مباشرة. الآن يُستخدم غالبية المحصول لإضفاء النكهة وتلوين الطعام في الأطباق التقليدية مثل البابيلا الإسبانية والحساء الفرنسي. وبسبب طريقة حصاد الزعفران، فإنه أغلى أنواع التوابل في العالم اليوم؛ إذ يتطلب ثلاثة عشر ألف ميسمًا عارٍ لإنتاج أونصة واحدة فقط.

يُعرف الجزيء المسؤول عن اللون الأصفر البرتقالي المميز للزعفران باسم كروسيتين، ويشبه تركيبه اللون البرتقالي لـ(بيتا كاروتين)، ولكل منها السلسلة نفسها المكونة من سبع روابط مزدوجة متناوبة موضحة أدناه بين قوسين.


كاروتين، لون الجزر

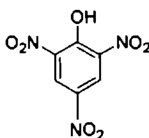


كروسيتين، لون الزعفران

على الرغم من أن فن الصباغة بدأ بلا شك كحرفة منزلية ويستمر فعليًّا في هذا الوضع إلى حد ما اليوم، فقد نُظر إلى الصباغة على أنَّها مشروع تجاري منذ آلاف السنين. تضم بردية مصرية تعود إلى عام 236 ق.م. وصفًا للصباغين على أنَّ «رائحتهم تشبه سمك كريه الرائحة، وعيونهم متعبة وأيديهم تعمل بلا توقف.» كانت نقابات الصباغين معروفة في العصور الوسطى، وازدهرت الصناعة جنبًا إلى جنب مع تجارة الصوف في شمال أوروبا وإنتاج الحرير في إيطاليا وفرنسا. كان النيلي، الذي زرع من خلال عمالة العبيد، محصولًا مهمًا من الصادرات في أجزاء من جنوب الولايات المتحدة خلال القرن الثامن عشر. ونظرًا إلى أن القطن أصبح سلعة مهمة في إنجلترا، فقد كان تزايد طلب كبير أيضًا على الصباغين أصحاب المهارة.

صبغات صناعية

ابتداءً من أواخر القرن الثامن عشر الميلادي، أنتجت الأصباغ الاصطناعية التي غيرت ممارسات هؤلاء الحرفيين القديمة. أول هذه الأصباغ التي صنعها الإنسان هو حمض البكريك، وهو جزيء ثلاثي النترات استخدم في الذخائر في الحرب العالمية الأولى.



حمض البكريك

نظرًا إلى أنه مثال على المركب الفينولي، فصُنِّع لأول مرة في عام 1771 واستخدم صبغة لكل من الصوف والحرير منذ حوالي عام 1788. وعلى الرغم من أن حمض البكريك أنتج لونًا أصفر قويًا بصورة رائعة، فإن عيبه، مثل الكثير من المركبات المنترتة، هو إمكاناته الانفجارية، وهو أمر لم يقلق الصباغون الذين يعملون مع الصبغات الصفراء الطبيعية. كما يوجد عيبان آخران هما أن حمض البكريك ثباته ضعيف عند تعرضه للضوء ولا يمكن الحصول عليه بسهولة.

أصبح الأليزارين الاصطناعي متوافرًا كمًّا وكيفًا على نحو جيد في عام 1868؛ أصبح النيلي الاصطناعي متاحًا في عام 1880. بالإضافة إلى ذلك، أُعدت أصباغ جديدة تمامًا من صنع الإنسان؛ كانت الأصباغ التي أعطت درجات لونية لامعة وواضحة، ثابتة، وأعطت نتائج متسقة. بحلول عام 1856، كان ويليام هنري بيركن، البالغ من العمر ثمانية عشر عامًا، قد ابتكر صبغة اصطناعية أحدثت تغييرًا جذريًا في صناعة الأصباغ. درس بيركن في الكلية الملكية للكيمياء في لندن. والده عامل بناء ولم يكن لديه سوى القليل من الوقت لمتابعة دراسة الكيمياء لأنه شعر أنه من غير المرجح أن تُسفر عن أيّ مستقبل مالي سليم. لكن بيركن أثبت خطأ والده.

خلال عطلة عيد الفصح في عام 1856، قرر بيركن محاولة تصنيع عقار الكينين المضاد للملاريا، باستخدام مختبر صغير أنشأه في منزله. كان معلمه، أوجست هوفمان، أستاذ الكيمياء الألماني في الكلية الملكية، مقتنعًا بإمكانية تصنيع الكينين من المواد الموجودة في قطران الفحم، وهي البقايا الزيتية نفسها التي كانت، بعد بضع سنوات، تنتج الفينول

للجراح جوزيف ليستر. لم تُعرف حينها بنية الكينين، لكن خصائصه المضادة للملاريا جعلت وجوده نادرًا والطلب عليه هائلًا. ظلت الإمبراطورية البريطانية ودول أوروبية أخرى توسع مستعمراتها في المناطق الموبوءة بالملاريا في الهند الاستوائية وإفريقيا وجنوب شرق آسيا. العلاج الوحيد المعروف والوقائي للملاريا هو الكينين، الذي يُحصل عليه من اللحاء النادر لشجرة الكينا في أمريكا الجنوبية.

سيصبح التصنيع الكيميائي للكينين إنجازًا عظيمًا، لكن لم تُكلل أي من تجارب بيركن بالنجاح. ومع ذلك، أنتجت إحدى تجاربه مادة سوداء تذوب في الإيثانول لتعطي محلولًا أرجوانيًّا داكنًا. عندما أسقط بيركن بضع شرائح من الحرير في الخليط، امتص القماش اللون. اختبر هذا الحرير المصبوغ بالماء الساخن والصابون ووجد أنه ثابت اللون. ثم عرَّض بيركن العينات للضوء؛ لم يبهت اللون، بل ظل أرجوانيًا بدرجة لافندر لامع. وإدراكًا منه أن اللون الأرجواني كان لونًا نادرًا ومكلفًا في صناعة الأصباغ وأن الصبغة الأرجوانية، الثابتة الألوان على كل من القطن والحرير، يمكن أن تكون منتجًا قابلًا للتطبيق تجاريًا، أرسل بيركن عينة من القماش المصبوغ إلى شركة صباغة رائدة في أسكوتلندا. وجاء رد داعم: «إذا كان اكتشافك لا يُزيد من ثمن البضائع زيادة كبيرة، فهو بالتأكيد أحد أكثر السلع قيمة التي ظهرت منذ فترة طويلة جدًا».

هذا هو كل التشجيع الذي يحتاج إليه بيركن. ترك الكلية الملكية للكيمياء، وبمساعدة مالية من والده، سجل براءة اختراع لاكتشافه، وأنشأ مصنعًا صغيرًا لإنتاج صبغته بكميات أكبر وبتكلفة معقولة،

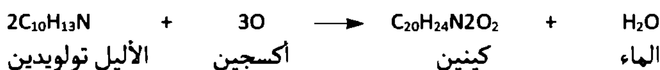
وبحث في المشكلات المرتبطة بصبغ الصوف والقطن وكذلك الحرير. بحلول عام 1859، وصل اللون *البنفسجي* وهو الاسم الذي أطلق على اللون الأرجواني لبيركن، باكتساح إلى عالم الموضة. أصبح اللون البنفسجي اللون المفضل لدى أوجيني، إمبراطورة فرنسا، والبلاط الفرنسي. ارتدت الملكة فيكتوريا فستانًا بنفسجي اللون في حفل زفاف ابنتها وافتتاح معرض لندن في عام 1862. وبموافقة ملكية من بريطانيا وفرنسا، ارتفعت شعبية هذا اللون؛ غالبًا ما يشار إلى ستينيات القرن التاسع عشر باسم العقد البنفسجي. في الواقع، استخدم اللون البنفسجي لطباعة الطوابع البريدية البريطانية حتى أواخر ثمانينيات القرن التاسع عشر.

لاكتشاف بيركن عواقب بعيدة المدى. بصفته أوّل تصنيع حقيقي متعدد الخطوات لمركب عضوي، سرعان ما تبعه عدد من العمليات المماثلة التي أدت إلى إنتاج الكثير من الأصباغ الملونة المختلفة من بقايا قطران الفحم التي تخلفها صناعة غاز الفحم. غالبًا ما تُعرف هذه معًا باسم أصباغ قطران الفحم أو أصباغ الأنيلين. وبحلول نهاية القرن التاسع عشر، كان لدى الصباغين حوالي ألفا لون صناعي في مخزونهم. حلت صناعة الأصباغ الكيميائية محل المشروع القديم المتمثل في استخلاص الأصباغ من المصادر الطبيعية منذ آلاف السنين.

في حين أن بيركن لم يكسب المال من جزيء الكينين، فقد جمع ثروة هائلة من *الموفين* وهو الاسم الذي أطلقه على الجزيء الذي ينتج الظل الأرجوانيّ الداكن الجميل للون البنفسجي، ومن اكتشافاته اللاحقة لجزيئات صبغية أخرى. هو أول من أظهر أن

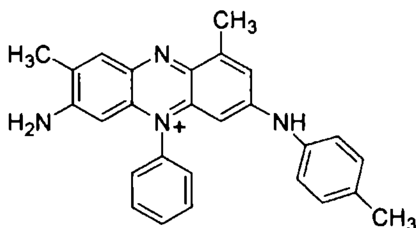
دراسة الكيمياء يمكن أن تُدر ربحًا كبيرًا، مما يستلزم بلا شك التراجع عن رأي والده المتشائم الأوّليّ. كما أكد اكتشاف بيركن أهمية بنيات الكيمياء العضوية، وهي فرع الكيمياء الذي يحدد بالضبط كيفية ارتباط الذرات المختلفة في الجزيء. كان من الضروري معرفة الصيغة البنائية للأصباغ الجديدة، وكذلك بنية الأصباغ الطبيعية القديمة مثل الأليزارين والنيلي.

بُنيت تجربة بيركن الأصلية على افتراضات كيميائية غير صحيحة. في ذلك الوقت، عُرف أن الكينين له الصيغة الكيميائية $C_{20}H24N_{2}O2$، ولكن لم يعرف سوى القليل عن بنية المادة. عرف بيركن أيضًا أن مركبًا آخر، وهو الأليل تولويدين، له الصيغة الكيميائية $C_{10}H13N$، وبدا له أنه من الممكن أن يؤدي دمج جزيئين من الأليل تولويدين، في وجود عامل مؤكسد مثل ثنائي كرومات البوتاسيوم لإضافة مزيد من أكسجين، إلى تكوين الكينين.



ومن منظور الصيغة الكيميائية، قد لا تبدو فكرة بيركن غير معقولة، لكننا نعلم الآن أن هذا التفاعل لن يحدث. ومن دون معرفة الصيغة البنائية الفعلية للأليل تولويدين والكوينين، فإنه من غير الممكن ابتكار سلسلة من الخطوات الكيميائية اللازمة لتحويل جزيء واحد إلى جزيء آخر. وهذا هو السبب في أن الجزيء الذي ابتكره بيركن، *الموفين*، كان مختلفًا كيميائيًا تمامًا عن الكينين، وهو الجزيء الذي كان ينوي تصنيعه.

حتى يومنا هذا، لا تزال الصيغة البنائية *للموفين* غامضة إلى حدٍ ما. لم تكن المواد الأولية لبيركن، المعزولة من قطران الفحم، نقية، ويُعتقد الآن أن لونه الأرجواني حُصل عليه من خليط من المركبات قريب إلى حدٍ كبير. من المفترض أن يكون ما يلي هو الصيغة البنائية الرئيسة المسؤولة عن اللون:



جزء من جزيء الموفين، المسهم الأساسي في لون الموف لتجربة بيركن

أتى قرار بيركن بتصنيع الصبغة البنفسجية تجاريًا بلا شك في صورة قفزة إيمانية. لقد كان شابًا، طالبًا مبتدئًا في الكيمياء، ولم يكن لديه سوى القليل من المعرفة بصناعة الأصباغ وليس لديه أي خبرة على الإطلاق في الإنتاج الكيميائي على نطاق واسع. بالإضافة إلى ذلك، كان إنتاج تصنيعه ضئيلًا، في أحسن الأحوال، ربما ٪5 من الكمية الممكنة نظريًا، وواجه صعوبات حقيقية مرتبطة بالحصول على إمدادات ثابتة من المواد الأولية لقطران الفحم. رُبما يشق على الكيميائي ذي الخبرة هذه المشكلات، وربما يمكننا أن نعزو نجاح بيركن جزئيًا إلى حقيقة أنه لم يترك افتقاره إلى الخبرة يردعه. ونظرًا إلى أنَّه لم توجد أيّ عمليات تصنيع مسبقة يُمكن استخدامها كدليل،

تعيّن على بيركن أن يبتكر أجهزة وإجراءات جديدة ويختبرها. عُثر على حلول للمشكلات المرتبطة بتوسيع نطاق صيغته البنائية: صُنعت أوعية زجاجية كبيرة، حيث إن الحمض الموجود في العملية سيهاجم حاويات الحديد؛ استُخدمت أجهزة التبريد لمنع ارتفاع درجة الحرارة في أثناء التفاعلات الكيميائية؛ سُيطر على الأخطار مثل الانفجارات وانبعاث الأبخرة السامة. في عام 1873، باع بيركن مصنعه بعد تشغيله لمدة خمسة عشر عامًا. تقاعد رجلًا ثريًا وقضى بقية حياته في دراسة الكيمياء في مختبر منزله.

إرث الأصباغ

أصبحت تجارة الأصباغ، التي تنتج الآن بشكل رئيس الأصباغ الاصطناعية المركبة كيميائيًّا، رائدة لمشروع كيميائي عضوي من شأنه أن ينتج في نهاية المطاف المضادات الحيوية والمتفجرات والعطور والدهانات والأحبار والمبيدات الحشرية والمواد البلاستيكية. لم تتطور صناعة الكيمياء العضوية الوليدة في إنجلترا -موطن الصبغة *البنفسجية*- أو في فرنسا، حيث تمتعت الأصباغ والصباغة بأهمية كبيرة لعدة قرون. بل إن ألمانيا هي التي طورت إمبراطورية كيميائية عضوية ضخمة إلى جانب التكنولوجيا والعلوم التي استندت إليها. كان لدى بريطانيا صناعة كيميائية قوية، توفر المواد الخام اللازمة للتبييض، والطباعة، والفخار، والخزف، وصناعة الزجاج، والدباغة، والتخمير، والتقطير، ولكن هذه المركبات كانت غير عضوية في الغالب وهي: البوتاس، والجير، والملح، والصودا، والحامض، والكبريت، والطباشير، والطين.

ساعدت عدة أسباب ألمانيا -وبدرجة أقل سويسرا- على أن يكونا من اللاعبين الرئيسيين في مجال المواد الكيميائية العضوية الاصطناعية. بحلول سبعينيات القرن التاسع عشر، أُجبر عدد من مصنعي الأصباغ البريطانيين والفرنسيين على التوقف عن العمل نتيجة لسلسلة لا نهاية لها من النزاعات على براءات الاختراع حول الأصباغ وعمليات الصباغة. تقاعد رجل الأعمال البريطاني الكبير، بيركن، ولم يحل محله أي شخص آخر يتمتع بالمعرفة الكيميائية المطلوبة، ومهارات التصنيع، والمواهب التجارية. لذا، أصبحت بريطانيا، التي ربما لم تدرك أن ذلك يتعارض مع مصالح البلاد، مصدرًا للمواد الخام اللازمة لصناعة الأصباغ الاصطناعية المتنامية. وكانت بريطانيا قد اكتسبت التفوق الصناعي على أساس استيراد المواد الخام وتحويلها إلى سلع تامة الصنع للتصدير، لذا فإن فشلها في إدراك فائدة قطران الفحم وأهمية الصناعة الكيميائية الاصطناعية كان خطأً فادحًا استفادت منه ألمانيا.

أسهم سبب آخر مهم في نمو صناعة الأصباغ الألمانية وهو الجهود التعاونية بين الصناعة والجامعات. خلافًا للبلدان الأخرى التي ظلت فيها الأبحاث الكيميائية حكرًا على الجامعات، كان الأكاديميون الألمان يميلون إلى العمل بالقرب من نظرائهم في الصناعة. فهذا النمط كان أساسًا حيويًا لنجاح الصناعة الكيميائية الألمانية. ومن دون المعرفة بالتركيب الجزيئي للمركبات العضوية والفهم العلمي للخطوات الكيميائية في تفاعلات التصنيع العضوي، لم يكن بإمكان العلماء تطوير التكنولوجيا المتقدمة التي أدت في نهاية المطاف إلى إنتاج المستحضرات الصيدلانية الحديثة.

نمت الصناعة الكيميائية في ألمانيا بفضل ثلاث شركات. في عام 1861، تأسست أول شركة، مصنع باديش أنيلين والصودا (باسف)، في لودفيجسهافن على نهر الراين. على الرغم من أنها تأسست في الأصل لإنتاج مركبات غير عضوية مثل رماد الصودا والصودا الكاوية، فإن شركة باسف سرعان ما أصبحت نشطة في صناعة الأصباغ. في عام 1868، أعلن الأكاديميان الألمانيان، كارل جرايبي وكارل ليبرمان، عن أول أليزارين اصطناعي. اتصل هاينريش كارو، رئيس الكيميائيين في شركة باسف، بالكيميائيين في برلين وتعاون معهم لإنتاج منتج اصطناعي قابل للتطبيق تجاريًّا من الأليزارين. وبحلول بداية القرن العشرين، كانت شركة باسف تنتج حوالي ألفي طن من هذه الصبغة المهمة وفي طريقها لأن تصبح واحدة من الشركات الكيميائية الخمس الكبرى التي تهيمن على العالم اليوم.

أما الشركة الكيميائية الألمانية الثانية، هوكست، فتأسست بعد عام واحد فقط من تأسيس شركة باسف. أنشئت في الأصل لإنتاج الأنيلين الأحمر، وهي صبغة حمراء لامعة تُعرف أيضًا باسم ماجنتا أو فوسكين، وقد حصل كيميائيو هوكست على براءة اختراع لتصنيعهم الأيزارين، الذي أثبت أنه يُدر ربحًا هائلًا. أدخل النيلي الاصطناعي، وهو نتاج سنوات من البحث والاستثمار المالي الكبير، بربح وافر إلى كل من شركتي باسف وهوكست.

أمَّا الشركة الألمانية الكيميائية الثالثة، فشاركت في سوق الأليزارين الاصطناعي. على الرغم من أن اسم شركة باير يرتبط في أغلب الأحيان بالأسبرين، فإن شركة باير وشركاه، التي تأسست

عام 1861، كانت تصنع في البداية أصباغ الأنيلين. صُنِّع الأسبرين في عام 1853، لكن الأرباح من الأصباغ الاصطناعية، وبخاصة الأليزارين، لم تسمح لشركة باير وشركاه بالتنويع في مجال الأدوية وتسويق الأسبرين تجاريًّا إلا في عام 1900 تقريبًا.

في ستينيات القرن التاسع عشر، لم تنتج هذه الشركات الثلاث سوى نسبة صغيرة من الأصباغ الاصطناعية في العالم، ولكن بحلول عام 1881 كانت تمثل نصف الإنتاج العالمي. وفي مطلع القرن العشرين، وعلى الرغم من الزيادة الهائلة في إجمالي الإنتاج العالمي من الأصباغ الاصطناعية، فقد استحوذت ألمانيا على ما يقرب من 90 في المائة من سوق الأصباغ. إلى جانب الهيمنة على الأصباغ، كان للتصنيع دور قيادي في مجال الكيمياء العضوية، بالإضافة إلى دوره الكبير في تطوير الصناعة الألمانية. مع قدوم الحرب العالمية الأولى، تمكنت الحكومة الألمانية من تجنيد شركات الأصباغ لتصبح منتجة متطورة للمتفجرات والغازات السامة والأدوية والأسمدة والمواد الكيميائية الأخرى اللازمة لدعم الحرب.

بعد الحرب العالمية الأولى، وقع الاقتصاد الألماني والصناعة الكيميائية الألمانية في أزمة. في عام 1925، على أمل تخفيف ظروف السوق الراكدة، اتحدت شركات الكيماويات الألمانية الكبرى في تكتل عملاق،Interessengemeinschaft Farbenindustrie Aktiengesellschaft (اتحاد شركات صناعة الأصباغ)، المعروف عمومًا باسم شركة إي جي فاربن. وتعني كلمة Interessengemeinschaft حرفيًا «مجتمع المصالح»، ويصب هذا

التكتل بما لا يدع مجالًا للشك في مصلحة مجتمع التصنيع الكيميائي الألماني. بعد إعادة التنظيم والتنشيط، استثمرت شركة إي جي فاربن، التي أصبحت الآن أكبر كارتل كيميائي في العالم، أرباحها الكبيرة وقوتها الاقتصادية في الأبحاث، ونوعت إنتاجها بتصنيع منتجات جديدة، وطورت تقنيات جديدة بهدف تحقيق احتكار الصناعة الكيميائية في المستقبل.

مع قدوم الحرب العالمية الثانية، أصبح شركة إي جي فاربن، التي هي فعليًا مساهمة رئيسة في الحزب النازي، لاعبًا رئيسًا في آلة الحرب لأدولف هتلر. مع تقدم الجيش الألماني عبر أوروبا، تولت شركة إي جي فاربن السيطرة على المصانع الكيماوية ومواقع التصنيع في البلدان التي تحتلها ألمانيا. بُنِيَ مصنع كيميائي كبير لإنتاج الزيوت الاصطناعية والمطاط في معسكر اعتقال أوشفيتز في بولندا. عمل نزلاء المعسكر في المصنع وخضعوا أيضًا لتجربة أدوية جديدة.

بعد الحرب، حُوكم تسعة من المديرين التنفيذيين في شركة إي جي فاربن بارتكاب جرائم نهب وجرائم الممتلكات في الأراضي المحتلة. أُدين أربعة من المديرين التنفيذيين بفرض أعمال السخرة ومعاملة أسرى الحرب والمدنيين بطريقة غير إنسانية. توقف نمو شركة إي جي فاربن وتأثيره؛ تقسّمت المجموعة الكيميائية العملاقة، بحيث أصبح اللاعبون الرئيسون مرة أخرى هم باسف وهوكسيت، وباير. استمرت هذه الشركات الثلاث في الازدهار والتوسع، وهي تشكل اليوم جزءًا كبيرًا من صناعة الكيماويات العضوية، وتتراوح اهتماماتها بدءًا من البلاستيك والمنسوجات إلى الأدوية والزيوت الاصطناعية.

غيرت جزيئات الصبغة التاريخ. بفضل البحث والطلب المتزايد على مصادرها الطبيعية لمدة تصل إلى آلاف السنين، أنشأت بعض الصناعات الإنسانية الأولى. ومع تزايد الطلب على الألوان، تزايدت كذلك النقابات والمصانع والمدن والتجارة. لكن ظهور الأصباغ الاصطناعية غيّر وجه العالم. اختفت الوسائل التقليدية للحصول على الأصباغ الطبيعية. وبدلًا من ذلك، وبعد أقل من قرن من تصنيع بيركن اللون البنفسجي لأول مرة، لم تهيمن التكتلات الكيميائية العملاقة على سوق الأصباغ فحسب، بل سيطرت أيضًا على صناعة الكيمياء العضوية المزدهرة. وهذا بدوره وفر رأس المال والمعرفة الكيميائية للإنتاج الضخم اليوم من المضادات الحيوية والمسكنات والمركبات الصيدلانية الأخرى.

لم يكن اللون البنفسجي الذي ابتكره بيركن سوى واحد من مركبات الصبغة الاصطناعية المشاركة في هذا التحول الرائع، لكن الكثير من الكيميائيين يرونه الجزيء الذي حوَّل مسار الكيمياء العضوية من مسعى أكاديمي إلى صناعة عالمية كبرى. من اللون البنفسجي إلى الاحتكار، كان للصبغة التي ابتكرها مراهق بريطاني في أثناء إجازته تأثير قوي في مجرى الأحداث العالمية.

الفصل العاشر

العقاقير العجيبة

على الأرجح لم يُفاجئ ويليام بيركن أنَّ تركيبه للون البنفسجي صار الأساس لمشروع الأصباغ التجاري الضخم. في نهاية المطاف، تيقن تقينًا تامًا من أن صناعة اللون البنفسجي ستدر ربحًا إلى حد أنه أقنع والده بتمويل حلمه، وقد حقق نجاحًا ساحقًا في حياته. لكن حتى هو لم يكن ليتوقع على الأرجح أن إرثه سيشمل أحد التطورات الرئيسة الناشئة عن صناعة الأصباغ: المستحضرات الدوائية. هذا الجانب من الكيمياء العضوية الاصطناعية من شأنه أن يتجاوز بكثير إنتاج الأصباغ، ويغير ممارسة الطب، وينقذ ملايين الأرواح.

في عام 1856، وهو العام الذي أعد فيه بيركن الجزيء البنفسجي، كان متوسط العمر المتوقع في بريطانيا حوالي خمسة وأربعين عامًا. ولم يتغير هذا على نحوٍ ملحوظ إلى نهاية القرن التاسع عشر. بحلول عام 1900، ارتفع متوسط العمر المتوقع في الولايات المتحدة إلى ستة وأربعين عامًا فقط للذكور وثمانية وأربعين عامًا للإناث. وفي المقابل، بعد قرن من الزمان، ارتفعت هذه الأرقام إلى اثنين وسبعين للذكور وتسعة وسبعين للإناث.

لا بُدَّ أن هذه الزيادة المفاجئة بعد قرون من متوسط العمر القصير، وراءها شيء مبهر. أحد العوامل الرئيسة التي ساعدت على إطالة متوسط العمر هو إدخال جزيئات الكيمياء الطبية في القرن العشرين، وبخاصة الجزيئات المُعْجِزة المعروفة بالمضادات الحيوية. صُنعت فعليًّا الآلاف من المركبات الصيدلانية المختلفة خلال القرن الماضي، وقد غيرت المئات منها حياة الكثير من الناس. سننظر في الكيمياء وراء نوعين فقط من المستحضرات الصيدلانية ومدى تطور هذين النوعين وهما: جزيء الأسبرين المسكن للألم، ومثالين لنوع آخر وهو المضادات الحيوية. ساعدت أرباح الأسبرين في إقناع شركات الكيماويات باحتمالية وجود مستقبل في مجال الأدوية. لا تزال المضادات الحيوية الأولى -أدوية السلفا والبنسلين- تُقرر في الوصفات الطبية حتى اليوم.

منذ آلاف السنين استُخدمت الأعشاب الطبية لالتئام الجروح وعلاج الأمراض وتخفيف الألم. طور كل مجتمع بشري علاجات تقليدية فريدة من نوعها، وقد أنتج عدد منها مركبات لها فائدة عظيمة أو عُدلت كيميائيًّا لإنتاج أدوية حديثة. لا يزال الكينين، الذي يأتي من شجرة الكينا في أمريكا الجنوبية والذي استخدمه في الأصل هنود البيرو لعلاج الحمى، حتى اليوم مضادًا للملاريا. أما نبات قفاز الثعلب الذي يحتوي على الديجيتال، الذي لا يزال يوصف حاليًا على أنه منشط للقلب، فيستخدم منذ فترة طويلة في أوروبا الغربية لعلاج أمراض القلب. وكانت الخصائص المسكنة للعصارة من كبسولات بذور نبات الخشخاش منتشرة انتشارًا كبيرًا من أوروبا إلى آسيا، ولا يزال المورفين المستخرج من هذا المصدر يلعب دورًا رئيسًا في تخفيف الألم.

ومع ذلك، من الناحية التاريخية، لم يتوافر سوى عدد قليل من العلاجات الفعالة المعروفة لعلاج الالتهابات البكتيرية. حتى وقت قريب نسبيًا، فإن الجروح الصغيرة أو الجروح الضئيلة الناتجة عن اختبارات البزل يمكن أن تصبح مهددة للحياة إذا أصيبت بالعدوى. مات خمسون بالمائة من الجنود الذين أصيبوا خلال الحرب الأهلية الأمريكية بسبب الالتهابات البكتيرية. بفضل الإجراءات المطهرة والجزيئات مثل الفينول، التي أدخلها جوزيف ليستر، كانت هذه النسبة أقل خلال الحرب العالمية الأولى. ولكن على الرغم من أن استخدام المطهرات ساعد في الوقاية من العدوى الناتجة عن الجراحة، فهو لم يقدم الكثير لمكافحة العدوى ما إن يُصاب بها الإنسان. أودت جائحة الأنفلونزا الكبيرة في الفترة بين 1918 إلى 1919 بحياة أكثر من عشرين مليون شخص في جميع أنحاء العالم، وهو عدد أكبر بكثير من ضحايا الحرب العالمية الأولى. الأنفلونزا نفسها فيروسيّة؛ فعادة السبب الحقيقي للوفاة هو العدوى الثانوية للالتهاب الرئوي الجرثومي. أمَّا الإصابة بالكزاز أو السل أو الكوليرا أو حمى التيفوئيد أو الجذام أو السيلان أو أي من الأمراض الأخرى فهي كحكم بالإعدام في كثير من الأحيان. وفي عام 1798، أثبت الطبيب الإنجليزي إدوارد جينر بنجاح لعلاج فيروس الجدري عملية إنتاج مناعة اصطناعية ضد المرض، على الرغم من أن مفهوم اكتساب المناعة بهذه الطريقة كان معروفًا منذ العصور السابقة ومن بلدان أخرى. بدءًا من العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر، بُحِثَ في طرق مماثلة لتوفير المناعة ضد البكتيريا، وأصبح التلقيح تدريجيًا متاحًا لعدد

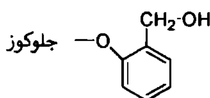
من الأمراض البكتيرية. بحلول الأربعينيات من القرن العشرين، كان الخوف من ثنائي الطفولة المخيف المتمثل في الحمى القرمزية والدفتيريا قد انحسر في البلدان التي توافرت فيها برامج التطعيم.

أسبرين

في أوائل القرن العشرين عاشت الصناعات الكيميائية الألمانية والسويسرية حالة ازدهار بفضل استثمارها في صناعة الأصباغ. لكن لم يقتصر هذا النجاح على الجانب المالي فقط. بجانب الأرباح من مبيعات الأصباغ، جاءت ثروة جديدة من المعرفة الكيميائية، واكتُسبت خبرة في التفاعلات واسعة النطاق، وتقنيات الفصل والتنقية التي كانت حيوية للتوسع في الأعمال الكيميائية الجديدة للمستحضرات الصيدلانية. شركة باير وشركاه، الشركة الألمانية التي أسست بداياتها من أصباغ الأنيلين، من أوائل الشركات التي أدركت الإمكانات التجارية في الإنتاج الكيميائي للأدوية وبخاصة الأسبرين، الذي يستخدمه الآن عدد أكبر من الناس في جميع أنحاء العالم أكثر من أي دواء آخر.

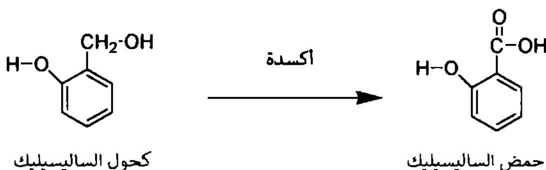
في عام 1893، قرر فيليكس هوفمان، وهو كيميائي يعمل في شركة باير، الاستقصاء لاستكشاف خصائص المركبات التي كانت مرتبطة بحمض الساليسيليك، جزيء أنتج من الساليسين، وهو جزيء مسكن للألم عُزل في الأصل من لحاء أشجار الصفصاف (*ساليكس*) في عام 1827. عُرفت الخصائص العلاجية للصفصاف والنباتات ذات الصلة مثل أشجار الحور منذ قرون. استخدم أبقراط، الطبيب الشهير في اليونان القديمة، مستخلصات من لحاء الصفصاف لتقليل

الحمى وتخفيف الألم. وعلى الرغم من أن جزيء الساليسين المرير المذاق يشتمل على حلقة جلوكوز في بنيته، فإن مذاق بقية الجزيء يطغى على أي حلاوة من جزء السكر.



جزيء الساليسين

مثل جزيء الإنديكان الذي يحتوي على الجلوكوز والذي ينتج الصبغة النيلية، ينقسم الساليسين إلى جزأين: الجلوكوز وكحول الساليسيليك، الذي يمكن أكسدته إلى حمض الساليسيليك. يُصنّف كل من كحول الساليسيليك وحمض الساليسيليك على أنهما من فينولات لأن لديهما مجموعة هيدروكسيل (OH) متصلة مباشرة بحلقة البنزين.



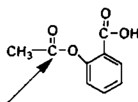
كحول الساليسيليك حمض الساليسيليك

يتشابه هذا الجزيئان أيضًا في تركيبهما مع الأيزويوجينول واليوجينول والوزينجرون الموجودين في القرنفل وجوزة الطيب والزنجبيل. على الأرجح أن الساليسين، مثل هذه الجزيئات، يعمل مبيدًا طبيعيًّا لحماية شجرة الصفصاف. يُنتج حمض الساليسيليك أيضًا

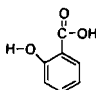
من زهور إكليلية المروج أو *سبيرايا ألماريا*[1]، وهي من الأراضي الرطبة الخالدة موطنها الأصلي في أوروبا وغرب آسيا.

لا يقتصر دور حمض الساليسيليك، وهو الجزء النشط من جزيء الساليسين، على تقليل الحمى وتخفيف الألم فحسب، بل يعمل أيضًا مضادًا للالتهابات. وهو أقوى بكثير من الساليسين الموجود بصورةٍ طبيعية، ولكنه يمكن أن يكون مهيجًا إلى حد كبير لبطانة المعدة، مما يقلل من قيمته الطبية. نشأ اهتمام هوفمان بالمركبات المرتبطة بحمض الساليسيليك بسبب قلقه على والده، الذي لم يخفف الساليسين من التهاب المفاصل الروماتويدي الذي يعانيه. مع التحلي بأمل الاحتفاظ بخصائص حمض الساليسيليك المضادة للالتهابات مع تقليل خصائصه المسببة للتآكل، أعطى هوفمان والده مشتقًا من حمض الساليسيليك، حمض أسيتيل الساليسيليك، الذي أعده لأول مرة كيميائي ألماني آخر قبل أربعين عامًا. في مركب الـ ASA، وهو الاختصار الذي يُطلق على حمض أسيتيل الساليسيليك، تحل مجموعة الأسيتيل (CH_3CO) محل الهيدروجين (H) من مجموعة الهيدروكسيل (OH) الفينولية من حمض الساليسيليك. جزيء الفينول يُسبب التآكل. فربما رأى هوفمان أن تحويل مجموعة الهيدروكسيل (OH) المرتبطة بالحلقة العطرية إلى مجموعة أسيتيل قد يخفي خصائصها المزعجة.

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي هو: Spiraea ulmaria.



حمض أسيتيل الساليسيليك يشير السهم إلى مجموعة الأسيتيل التي تحل محل الهيدروجين في مجموعة الفينول

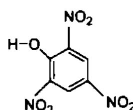


حمض الساليسيليك

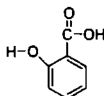
أتت تجربة هوفمان بثمارها وعادت بالنفع على والده وشركة باير. تبين أن صيغة الأسيتيل لحمض الساليسيليك فعالة ويُمكن تحمل جرعاته على نحوٍ جيّد. أقنعت خصائصه القوية المضادة للالتهابات والمسكنات شركة باير، في عام 1899، بالبدء في تسويق عبوات صغيرة من مسحوق «الأسبرين» الاسم مزيج من حرف *أ* من الأسيتيل و*السبير* من *سبيرايا ألماريا*، إكليلية المروج. أصبح اسم شركة باير مرادفا للأسبرين، إيذانا بدخول باير إلى عالم الكيمياء الطبية.

مع تزايد شعبية الأسبرين، لم تعد المصادر الطبيعية التي يُنتج منها حمض الساليسيليك -إكليلية المروج والصفصاف- كافية لتلبية الطلب على مستوى العالم. أدخلت طريقة اصطناعية جديدة تستخدم جزيء الفينول كمادة أولية. ارتفعت مبيعات الأسبرين إلى عنان السماء؛ خلال الحرب العالمية الأولى، اشترت الشركة الأمريكية التابعة لشركة باير الأصلية أكبر قدر ممكن من الفينول من مصادر وطنية ودولية من أجل ضمان وجود إمدادات كافية لتصنيع الأسبرين. وبالتالي فإن البلدان التي زودت شركة باير بالفينول كانت قدرتها منخفضة على صنع حمض البكريك (ثلاثي نيتروفينول)، وهو مادة متفجرة تُحضّر أيضًا من المادة الأولية نفسها (انظر الفصل 5).

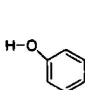
لا يمكننا إلا أن نتكهن بالتأثير الذي قد يحدثه ذلك في مسار الحرب العالمية الأولى، لكن إنتاج الأسبرين ربما قد قلل من الاعتماد على حمض البكريك في الذخائر وسرَّع من تطوير المتفجرات المعتمدة على مادة تي إن تي.



حمض البكريك



حمض الساليسيليك



فينول

الأسبرين اليوم هو أكثر الأدوية استخدامًا على نطاق واسع لعلاج الأمراض والإصابات. يوجد أكثر من أربعمائة مستحضر يحتوي على الأسبرين، وينتج أكثر من أربعين مليون رطل من الأسبرين في الولايات المتحدة سنويًّا. بالإضافة إلى تخفيف الألم، وخفض درجة حرارة الجسم، والحد من الالتهابات، فإن الأسبرين له أيضًا خصائص مميعة للدم. ويوصى بجرعات صغيرة من الأسبرين كوسيلة وقائية ضد السكتات الدماغية وتجلط الأوردة العميقة، وهي الحالة المعروفة باسم «متلازمة الدرجة الاقتصادية[1]» لدى ركاب الخطوط الجوية الطويلة المدى.

(1) ملحوظة المترجمة: السّفر على هذه الدّرجة قد يؤدي إلى ضغط الأوعية الدموية.

في وقت قريب من تجربة هوفمان على والده -وهو إجراء لتجربة المخدرات لا ينصح به- أجرى الطبيب الألماني بول إيرليك تجاربه الخاصة. قيل إن إيرليك، وهو بكل المقاييس، شخصية غريبة الأطوار حقًا، يدخن خمسة وعشرين سيجارًا يوميًا ويقضي ساعات طويلة في المناقشات الفلسفية في قاعات احتساء الخمور. ولكن ومع غرابة أطواره تحلى بمثابرة وتصميم وبصيرة أكسبته جائزة نوبل في الطب في عام 1908. وعلى الرغم من أنه لم يتلق تدريبًا رسميًّا في الكيمياء التجريبية أو علم الجراثيم التطبيقي، فقد لاحظ إيرليك أن أصباغ قطران الفحم المختلفة قد تصبغ بعض الأنسجة وبعض الكائنات الحية الدقيقة من دون غيرها. ورأى أنه إذا امتص أحد الكائنات الحية الدقيقة مادة صبغية ولم يمتصها كائن آخر، فإن هذا التمايز قد يسمح للصبغة السامة بقتل الأنسجة التي امتصتها من دون الإضرار بالأنسجة التي تُمتص الصبغة. نأمل أن يُقضى على الكائنات الحية الدقيقة المسببة للعدوى من دون أن يصاب المضيف بأذى. أطلق إيرليك على هذه النظرية نهج «الرصاصة السحرية»، فالرصاصة السحرية هي جزيء الصبغة الذي يستهدف الأنسجة التي يصبغها.

النجاح الأول الذي حققه إيرليك هو استخدام صبغة تسمى التريبان الأحمر I، التي لها تأثير كبير كما كان يأمل ضد طفيليات مثقبيات -وهي طفيلية أولية- في فئران المختبر. لسوء الحظ، لم تكن فعالة ضد نوع من المثقبيات المسؤول عن المرض الذي يصيب البشر المعروف باسم مرض النوم الإفريقي، الذي كان إيرليك يأمل في علاجه.

استمر إيرليك فيما يفعله من دون رادع. أظهر أن طريقته يمكن أن تنجح، وكان يعلم أن الأمر لا يتعلق إلا بالعثور على رصاصة سحرية مناسبة للمرض المناسب. بدأ بالتقصي والنظر في مرض الزهري، وهو مرض تسببه بكتيريا على شكل لولبي تُعرف باسم الجرثومة الملتوية. تكثر النظريات حول كيفية وصول مرض الزهري إلى أوروبا؛ ومن أكثرها شهرة أنه عاد من العالم الجديد مع بحارة كولومبوس. ومع ذلك، كان من المعروف أن أحد أشكال «الجذام» التي أُبلغ عنها في أوروبا قبل زمن كولومبوس، شديد العدوى وينتشر عن طريق الاتصال الجنسي. كما هو الحال مع مرض الزهري، فإنه يستجيب أحيانًا للعلاج بالزئبق. لا تتناسب أي من هذه الملاحظات مع ما نعرفه عن الجذام، ولعل ما جاء وصفه هو مرض الزهري فعليًّا.

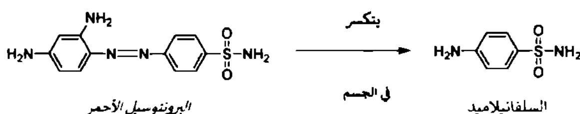
وبحلول الوقت الذي انطلق فيه إيرليك بالبحث عن حل سحري ضد هذه البكتيريا، زادت المطالبات للوصول إلى علاج مرض الزهري بالزئبق لأكثر من أربعمائة عام. ومع ذلك، لا يمكن تصنيف الزئبق على أنه حل سحريّ لمرض الزهري، لأنه يقتل مرضاه في كثير من الأحيان. توفي الضحايا بسبب قصور القلب والجفاف والاختناق في أثناء عملية تعرضهم للحرارة في الفرن في أثناء استنشاق أبخرة الزئبق. إذا نجا أحد من هذا الإجراء، فإن الأعراض النموذجية للتسمم بالزئبق -فقدان الشعر والأسنان، وسيلان اللعاب إلى حدٍ لا يمكن السيطرة عليه، وفقر الدم، والاكتئاب، والفشل الكلوي والكبد- كان لها أثرها.

في عام 1909، بعد اختبار 605 من المواد كيميائية المختلفة، وجد إيرليك أخيرًا مركبًا كان فعالاً وآمنًا إلى حد معقول. أثبت المركب «606»، وهو مركب عطري يحتوي على الزرنيخ، فعاليته ضد بكتيريا الزهري. عملت شركة هوكسيت لأعمال الصباغة- الشركة التي تعاون معها إيرليك- على تسويق هذا المركب في عام 1910، تحت اسم سالفارسان. بالمقارنة مع التبعات التعذيبية في أثناء علاج الزئبق، أتت خطوة العلاج الجديد بتحسن كبير. على الرغم من بعض الآثار الجانبية السامة وحقيقة أنه لا يعالج دائمًا مرضى الزهري حتى بعد عدد من العلاجات، فإن السلفارسان قلل على نحوٍ كبير من حدوث المرض أينما استخدم. أما شركة هوكسيت لأعمال الصباغة، فأثبتت أنه يعود بربح وافر، حيث وفرت رأس المال للتنوع في الإنتاج في مجال المستحضرات الصيدلانية الأخرى.

بعد إنجاز السالفارسان، سعى الكيميائيون إلى الحصول على المزيد من الحلول السحرية من خلال اختبار عشرات الآلاف من المركبات لمعرفة تأثيرها في الكائنات الحية الدقيقة، أجريت تغييرات طفيفة على الصيغ البنائية وأعيد الاختبار مرة أخرى. لم يُكلل السعي بأيّ نجاح. وبدا الأمر كما لو أن الوعد الذي أطلق عليه إيرليك «العلاج الكيميائيّ» لن يرقى إلى مستوى التوقعات. لكن في أوائل ثلاثينيات القرن العشرين، قرر جرهارت دوماك، وهو طبيب يعمل مع مجموعة أبحاث إي جي فاربن، استخدام صبغة تسمى البرونتوسيل الأحمر لعلاج ابنته، التي عانت مرضًا شديدًا بسبب عدوى المكورات العقدية التي أصيبت بها من وخز بسيط. ظل يُجري

تجارب على البرونتوسيل الأحمر في مختبر إي جي فاربن، وعلى الرغم من أنه لم يظهر أي نشاط ضد البكتيريا المزروعة في المزارع المختبرية، فإنه يثبط نمو العقديات في فئران المختبر. مما لا شك فيه أنه قرر أنه ليس لديه ما يخسره، أعطى دوماك ابنته جرعة فموية من الصبغة التي لا تزال قيد التجربة. وجاء تعافيها سريعًا وكاملًا.

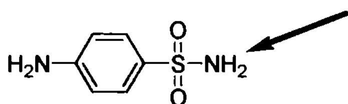
كان من المفترض في البداية أن عمل الصبغة -الصباغة الفعلية للخلايا- مسئول عن الخصائص المضادة للبكتيريا للبرونتوسيل الأحمر. لكن سرعان ما أدرك الباحثون أن التأثيرات المضادة للبكتيريا لا علاقة لها بعمل الصبغة في جسم الإنسان، يتحلل جزيء البرونتوسيل الأحمر لينتج السلفانيلاميد، والسلفانيلاميد هو الذي له تأثير المضاد الحيوي.



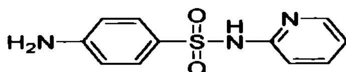
هذا بكلِّ تأكيد هو السبب وراء عدم نشاط البرونتوسيل الأحمر في أنابيب الاختبار (في المختبر) ولكن ليس في الحيوانات الحية (في الجسم الحي). وقد وجد أن السلفانيلاميد فعال ضد الكثير من الأمراض غير عدوى المكورات العقدية، بما في ذلك الالتهاب الرئوي والحمى القرمزية والسيلان. وبعد أن عرفوا السلفانيلاميد بصفته عاملًا مضادًا للجراثيم، شرع الكيميائيون سريعًا في تصنيع مركبات مماثلة، على أمل أن تؤدي التعديلات الطفيفة في البنية

الجزيئية إلى زيادة الفعالية وتقليل أي آثار جانبية. كانت معرفة أن البرونتوسيل الأحمر لم يكن الجزيء النشط أمرًا في غاية الأهمية. كما يتبين من الصيغ البنائية، فإن البرونتوسيل الأحمر هو جزيء أكثر تعقيدًا من السلفانيلاميد، كما أنه أكثر صعوبة في تصنيعه وتعديله.

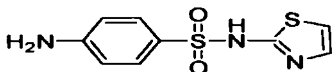
بين عامي 1935 و1946، أنتجت أكثر من خمسة آلاف نسخة مختلفة من جزيء السلفانيلاميد. أثبت عدد منها تفوقه على السلفانيلاميد، الذي يمكن أن تشمل آثاره الجانبية الاستجابة التحسسية؛ الطفح الجلدي والحمى، وتلف الكلى. خرجت أفضل النتائج من تغيير بنية السلفانيلاميد عندما حل محل إحدى ذرات الهيدروجين في SO_2NH2 مجموعة أخرى.



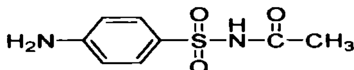
الجزيئات الناتجة كلها جزء من عائلة أدوية المضادات الحيوية المعروفة مجتمعة باسم *السلفوناميدات أو أدوية السلفا*. بعض الأمثلة الكثيرة هي:



سلفابيريدين؛ يُستخدم في علاج الالتهاب الرئوي



سولفاتيازول؛ يُستخدم في علاج التهابات الجهاز الهضمي



سلفاسيتاميد؛ التهابات المسالك البولية

سرعان ما وصفت أدوية السلفا على أنّها أدوية عجيبة وعلاجات معجزة. وفي حين أن مثل هذه الأوصاف قد تبدو مبالغًا فيها بصورة غير مبررة في أيامنا هذه، حيث تتوافر الكثير من العلاجات الفعالة ضد البكتيريا، فإن النتائج المستخرجة بفضل هذه المركبات في العقود الأولى من القرن العشرين بدت غير عادية. على سبيل المثال، بعد إدخال السلفانيلاميدات، انخفض عدد الوفيات الناجمة عن الالتهاب الرئوي بمقدار خمسة وعشرين ألفًا سنويًا في الولايات المتحدة وحدها.

في الحرب العالمية الأولى، بين عامي 1914 و1918، كان احتمال الوفاة بسبب عدوى الجرح مماثلًا للوفاة بسبب الإصابة في ساحات القتال في أوروبا. تمثلت المشكلة الرئيسة في الخنادق وفي أي مستشفى عسكري في صورة من صور الغرغرينا المعروفة باسم الغرغرينا الغازية. تحدث الغرغرينا الغازية بسبب نوع شديد الخطورة من

بكتيريا *كلوستريديوم* وهو الجنس نفسه المسؤول عن التسمم الوشيقي المنقول بالأغذية، وعادةً ما تتطور الغرغرينا الغازية في الجروح الغائرة، وهي الجروح نفسها التي يعود سببها إلى الإصابات الناجمة عن القنابل والمدفعية حيث تثقب الأنسجة أو تُسحق. في غياب الأكسجين، تتكاثر هذه البكتيريا بسرعة. يُفرز صديد بني اللون ذو رائحة كريهة، وتتصاعد غازات من السموم البكتيرية إلى سطح الجلد، مسببة رائحة كريهة مميزة.

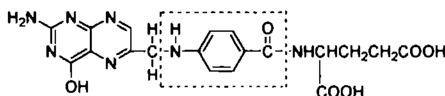
قبل تطوير المضادات الحيوية، لم يتوافر سوى علاج واحد للغرغرينا الغازية، وهو بتر الطرف المصاب فوق موقع الإصابة، على أمل إزالة جميع الأنسجة المصابة بالغرغرينا. وإذا لم يكن البتر ممكنًا، صار الموت حتميًا. خلال الحرب العالمية الثانية، وبفضل المضادات الحيوية مثل السلفابيريدين والسلفاثيازول -وكلاهما فعال ضد الغرغرينا- أنقذ آلاف المصابين من عمليات بتر الأطراف المشوهة، وعدد النَّاجين من الموت أكبر.

نحن نعلم الآن أن فعالية هذه المركبات ضد العدوى البكتيرية تتوقف على حجم جزيء سلفوناميد وشكله الذي يمنع البكتيريا من تكوين مادة مغذية أساسية، وهو حمض الفوليك. حمض الفوليك، أحد فيتامينات ب، ضروري لنمو الخلايا الموجودة في جسم الإنسان. يُوزع على نطاق واسع في الأطعمة، مثل الخضر الورقية (ومن هنا جاءت كلمة *الفوليك* من كلمة *فولياج*[1])، والكبد، والقرنبيط، والخميرة، والقمح، ولحم البقر. لا تُصنع أجسامنا حمض الفوليك،

(1) ملحوظة المترجمة: الكلمة الإنجليزية Foliage وتعني أوراق الشجر.

لذلك من الضروري أن نتناوله مع ما نأكله. من ناحية أخرى، لا تحتاج بعض البكتيريا إلى حمض الفوليك الإضافي، لأنها قادرة على صنع حمض الفوليك لها.

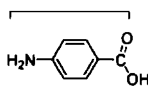
جزيء حمض الفوليك كبير إلى حد ما ويبدو معقدًا:



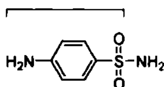
حمض الفوليك مع الجزء الأوسط من جزيء حمض أمينوبنزويك الموضح

انتبه فقط إلى الجزء في صيغته البنائية كما موضح داخل المربع المحدد في الصيغة البنائية السابقة. يشتق هذا الجزء الأوسط من جزيء حمض الفوليك (في البكتيريا التي تصنع حمض الفوليك لها) من جزيء أصغر، وهو حمض أمينوبنزويك. وبالتالي فإن حمض حمض بارا-أمينوبنزويك هو عنصر غذائي أساسي لهذه الكائنات الحية الدقيقة.

يتشابه التركيب الكيميائي لحمض بارا-أمينوبنزويك والسلفانيلاميد على نحوٍ ملحوظ في الشكل والحجم، وهذا التشابه هو الذي يفسر النشاط المضاد للميكروبات للسلفانيلاميد. يُقاس طول كلا الجزيئين (كما هو موضح بين الأقواس المربعة) من هيدروجين مجموعة النيتريت(NH2) إلى ذرة الأكسجين مزدوجة الارتباط ويبلغ طول هذه المسافة 3 بالمائة فقط من كلا الجزيئين. كما أن لديهما العرض نفسه تقريبًا.



حمض بارا-أمينوبنزويك



السلفانيلاميد

يبدو أن الإنزيمات البكتيرية المشاركة في تصنيع حمض الفوليك غير قادرة على التمييز بين جزيئات حمض أمينوبنزويك التي تحتاج إليها وجزيئات السلفانيلاميد المشابهة. ومن ثم فإن البكتيريا ستحاول من دون جدوى استخدام السلفانيلاميد بدلًا من حمض بارا- أمينوبنزويك وفي النهاية تموت لأنها غير قادرة على إنتاج ما يكفي من حمض الفوليك. نحن، بالاعتماد على حمض الفوليك الممتص من طعامنا، لا نتأثر سلبًا بعمل السلفانيلاميد.

من الناحية العملية، أدوية السلفانيلاميد ليست مضادات حيوية حقيقية. فالمضادات الحيوية تُعرَّف تعريفًا صحيحًا على أنها «المواد ذات الأصل الميكروبي التي يكون لها نشاط مضاد للميكروبات بكميات ضئيلة». السلفانيلاميد غير مشتق من خلية حية. وهو من صنع الإنسان وتصنيفه الصحيح أنه مضاد للأيض، أي مادة كيميائية تمنع نمو الميكروبات. لكن مصطلح *المضاد الحيوي* يستخدم الآن استخدامًا شائعًا لجميع المواد، الطبيعية أو الاصطناعية، التي تقتل البكتيريا.

على الرغم من أن أدوية السلفا ليست أول مضاد حيوي اصطناعي -فهذا الشرف يعود إلى جزيء سالفارسان الذي يقاوم مرض الزهري الذي ابتكره إيرليك- فهي أول مجموعة من المركبات التي استخدمت على نطاق واسع في مكافحة العدوى البكتيرية. لم تنقذ

حياة مئات الآلاف من الجنود الجرحى وضحايا الالتهاب الرئوي فحسب، بل هي مسؤولة أيضًا عن الانخفاض المذهل في وفيات النساء في أثناء الولادة، لأن البكتيريا العقدية التي تسبب حمى النفاس أثبتت أيضًا أنها حساسة للسلفا. ولكن في الآونة الأخيرة، انخفض استخدام أدوية السلفا في جميع أنحاء العالم لعدد من الأسباب: القلق بشأن آثارها الجانبية طويلة الأمد، وتطور البكتيريا المقاومة للسلفوناميد، وتطوير مضادات حيوية أحدث وأكثر قوة.

البنسلينات

لا تزال أقدم المضادات الحيوية الحقيقية، من عائلة البنسلين، تستخدم على نطاق واسع اليوم. في عام 1877، كان لويس باستور أول من أثبت إمكانية استخدام كائن حي دقيق لقتل كائن آخر. أوضح باستور أنه يُمكن منع نمو سلالة من الجمرة الخبيثة في البول عن طريق إضافة بعض البكتيريا الشائعة. بعد ذلك، عمل جوزيف ليستر، بعد أن أقنع عَالَم الطب بقيمة الفينول كمطهر، على البحث في خصائص العفن، الذي من المفترض أنه يعالج خراجًا مزمنًا لدى أحد مرضاه باستخدام مُضَمِدة منقوعة في مستخلص عفن *البنسليوم*

على الرغم من هذه النتائج الإيجابية، فإن إجراء المزيد من الأبحاث عن الخصائص العلاجية للعفن تم على مراحل متفرقة ومنعزلة حتى عام 1928، عندما اكتشف طبيب إسكتلندي يدعى ألكسندر فليمنج، يعمل في كلية الطب في مستشفى سانت ماري في جامعة لندن، أن عفنًا من عائلة البنسيليوم قد لوث مزارع بكتيريا المكورات العنقودية التي كان يدرسها. أشار إلى أن مستعمرة العفن

أصبحت شفافة وتفككت (تخضع لما يسمى الانحلال). وخلافًا للآخرين فيمن سبق، كان فليمنج مفتونًا بما يكفي لمواصلة المزيد من التجارب. افترض أن بعض المركبات التي ينتجها العفن هي المسؤولة عن تأثير المضاد الحيوي في بكتيريا المكورات العنقودية، وأكدت اختباراته ذلك. أثبت المرق المفلتر، المصنوع من عينات مستنبتة مما نعرفه الآن باسم فطر *بنسليوم نوتاتوم* فعاليته بصورة ملحوظة في الاختبارات المعملية ضد المكورات العنقودية المزروعة في أطباق زجاجية. حتى لو خُفِّف مستخلص الفطر ثمانمائة مرة، فإنه لا يزال نشطًا ضد الخلايا البكتيرية. علاوة على ذلك، فإن الفئران التي حُقنت بالمادة التي كان فليمنج يسميها الآن *البنسلين* لم تظهر عليها أي آثار سامة. على عكس الفينول، كان البنسلين غير مهيج ويمكن تطبيقه مباشرة على الأنسجة المصابة. يبدو أيضًا أنه مثبط بكتيري أقوى من الفينول. أظهر فعالية ضد الكثير من أنواع البكتيريا، بما في ذلك تلك المسببة لالتهاب السحايا، والسيلان، والتهابات العقديات مثل التهاب الحلق.

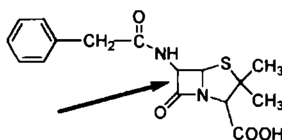
وعلى الرغم من أن فليمنج نشر نتائجه في مجلة طبية، لم تثر سوى القليل من الاهتمام. كان مرق البنسلين الذي استخدمه مخففًا إلى حد كبير، ولم تنجح محاولاته لعزل المادة الفعالة؛ نحن نعلم الآن أن البنسلين يمكن تعطيله بسهولة من خلال الكثير من المواد الكيميائية المخبرية الشائعة، وكذلك من خلال المذيبات والحرارة.

لم يخضع البنسلين للتجارب السريرية لأكثر من عقد من الزمن، وخلال تلك الفترة أصبح السلفانيلاميدات هو السلاح الرئيس ضد الالتهابات البكتيرية. في عام 1939، شجع نجاح أدوية السلفا مجموعة من الكيميائيين وعلماء الأحياء الدقيقة والأطباء في جامعة أكسفورد على البدء في العمل على طريقة لإنتاج البنسلين وعزله. تمّت أول تجربة سريرية باستخدام البنسلين الخام في عام 1941. ومن المؤسف أن النتائج كانت أشبه إلى حد كبير بالعبارة القديمة «كان العلاج ناجحًا، ولكن المريض مات». أُعطي العلاج بالبنسلين عن طريق الوريد لمريض واحد، وهو شرطي يعاني عدوى شديدة بالمكورات العنقودية والعقدية. بعد أربع وعشرين ساعة لوحظ التحسن. وبعد خمسة أيام اختفت الحمى واختفت العدوى. ولكن بحلول ذلك الوقت كانت كل كمية البنسلين المتاحة –حوالي ملعقة صغيرة من المستخلص غير المكرر– قد استنفدت. وما زالت عدوى الرجل خبيثة. توسعت من دون رادع، وسرعان ما توفي. كما توفي مريض ثان. ولكن في تجربة ثالثة، أنتج ما يكفي من البنسلين للقضاء تمامًا على عدوى المكورات العقدية لدى صبي يبلغ من العمر خمسة عشر عامًا. وبعد هذا النجاح، عالج البنسلين تسمم الدم بالمكورات العنقودية في طفل آخر، وأدرك فريق أكسفورد أن لديهم فائزًا. أثبت البنسلين فعاليته ضد مجموعة من البكتيريا، ولم تكن له آثار جانبية قاسية، مثل تسمم الكلى الذي لوحظ باستخدام السلفانيلاميدات. أشارت الدراسات اللاحقة إلى أن بعض البنسلينات تمنع نمو المكورات العقدية عندما تكون بتركيز مخفف يتراوح من واحد إلى خمسين مليونًا، وهو تركيز صغير إلى حد يُثير الدهشة.

في ذلك الوقت، لم يكن التركيب الكيميائي للبنسلين معروفًا بعد، وبالتالي لم يُتح إنتاجه صناعيًّا. ما زال يتعين استخلاص البنسلين من الفطر، وظلَّ إنتاج كميات كبيرة منه يمثل تحديًا لعلماء الأحياء المجهرية وعلماء البكتيريا وليس للكيميائيين. تمتع مختبر وزارة الزراعة الأمريكية في بيوريا، في إلينوي، بخبرة في زراعة الكائنات الحية الدقيقة، وأصبح مركزًا لبرنامج بحثي ضخم. وبحلول يوليو 1943، كانت شركات الأدوية الأمريكية تنتج 800 مليون وحدة من المضاد الحيوي الجديد. وبعد عام واحد تجاوز الإنتاج الشهري 130 مليار وحدة.

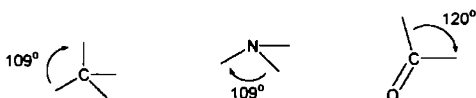
تشير التقديرات إلى أنه خلال الحرب العالمية الثانية، عمل ألف كيميائي في تسعة وثلاثين مختبرًا في الولايات المتحدة وبريطانيا على حل المشكلات المرتبطة بتكوين التركيب الكيميائي للبنسلين والعثور على طريقة لتركيبه. أخيرًا، في عام 1946، تحددت الصيغة البنائية، على الرغم من أنه صُنع بنجاح فقط في عام 1957.

قد لا تكون بنية البنسلين كبيرة أو تبدو معقدة مثل الجزيء الآخر الذي ناقشناه، ولكن في نظر الكيميائيين هو جزيء غير عادي لأنه يحتوي على حلقة رباعية، تعرف في هذه الحالة باسم (حلقة بيتا لاكتام).



هيكل جزيء البنسلين جي. يشير السهم إلى حلقة اللاكتام رباعية ذرات الكربون

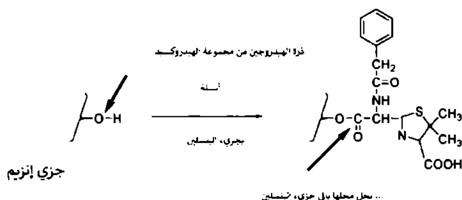
توجد جزيئات ذات حلقات رباعية في الطبيعة، لكنها ليست شائعة. يمكن للكيميائيين صنع مثل هذه المركبات، لكن ربما يصعب الأمر إلى حد كبير. السبب هو أن الزوايا في الحلقة الرباعية –حلقة مربعة– تبلغ 90 درجة، في حين أن زوايا الرابطة المفضلة لذرات الكربون والنيتروجين أحادية الرابطة تكون قريبة من 109 درجة. أمَّا ذرة الكربون مزدوجة الرابطة، فزاوية الرابطة المفضلة حوالي 120 درجة.



ترتيب ذرات الكربون والنيتروجين أحادية الرابطة بشكل ثلاثي الأبعاد في الفضاء، في حين أن الكربون المرتبط بذرة الأكسجين يكون في المستوى نفسه.

في المركبات العضوية، لا تكون الحلقة الرباعية مسطحة؛ بل منحنية نوعًا ما، ولكن حتى هذا لا يمكن أن يقلل ما يسميه الكيميائيون *التوتر الحلقي*، وهو عدم استقرار ينجم أساسًا عن اضطرار الذرات إلى أن تكون لها زوايا رابطة مختلفة تمام الاختلاف عن زاوية الرابطة المفضلة. لكن عدم الاستقرار هذا في الحلقة الرباعية هو الذي يفسر نشاط المضادات الحيوية لجزيئات البنسلين. تحتوي البكتيريا على جدران خلوية وتنتج إنزيمًا ضروريًا لتكوين جدار الخلية. في وجود هذا الإنزيم، تنقسم الحلقة (بيتا لاكتام) من جزيء البنسلين، مما يؤدي إلى تخفيف توتر الحلقة. وفي هذه العملية *تؤسّل* مجموعة الهيدروكسيل (OH) الموجودة في الإنزيم البكتيري (نوع التفاعل نفسه الذي حوّل حمض الساليسيليك إلى أسبرين) في

تفاعل الأسيلة هذا، يربط البنسلين الجزيء المفتوح الحلقة بالإنزيم البكتيري. لاحظ أن الحلقة الخماسية لا تزال سليمة، ولكن الحلقة الرباعية قد انفتحت.

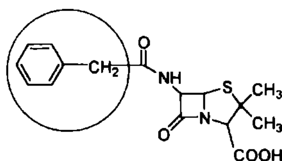


يرتبط جزيء البنسلين بالإنزيم البكتيري في تفاعل الأسيلة هذا

تعمل عملية الأسيلة على تعطيل الإنزيم الذي يشكل جدار الخلية. من دون القدرة على بناء جدران الخلايا، يثبّط نمو البكتيريا الجديدة في الكائن الحي. تحتوي الخلايا الحيوانية على غشاء خلوي بدلًا من جدار الخلية، وبالتالي لا تحتوي على الإنزيم نفسه الذي يشكل الجدار مثل هذه البكتيريا. ولذلك فإننا لا نتأثر بتفاعل الأسيلة مع جزيء البنسلين.

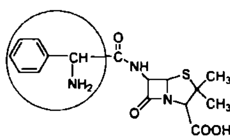
عدم استقرار حلقة البنسلين الرباعية (بيتا لاكتام) هو أيضًا السبب وراء الحاجة إلى تخزين البنسلينات، على عكس أدوية السلفا، في درجات حرارة منخفضة. بمجرد فتح الحلقة -وهي عملية تتسارع بالحرارة- لا يصبح الجزيء مضاد حيوي فعال. يبدو أن البكتيريا نفسها قد اكتشفت سر فتح الحلقة. طورت السلالات المقاومة للبنسلين إنزيمًا إضافيًّا يكسر حلقة البنسلين المكونة من بيتا لاكتام قبل أن تتاح لها فرصة تعطيل الإنزيم المسؤول عن تشكيل جدار الخلية.

بنية جزيء البنسلين الموضح تاليًا هي بنية البنسلين جي، الذي أُنتج لأوَّل مرة من الفطر في عام 1940 وما زال يستخدم على نطاق واسع. عُزِلَ الكثير من جزيئات البنسلين الأخرى من الفطر، وصُنع عدد منها كيميائيًّا من الإصدارات الطبيعية لهذا المضاد الحيوي. تختلف تركيبات البنسلينات المختلفة فقط في جزء الجزيء المُحاط بدائرة كما يلي.



البنسلين جي. الجزء المتغير من الجزيء محاط بدائرة.

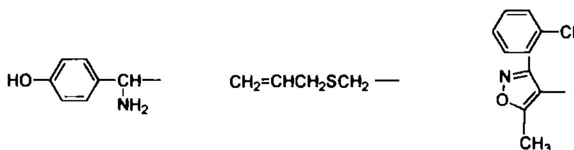
يختلف الأمبيسيلين، وهو بنسلين اصطناعي فعال ضد البكتيريا المقاومة للبنسلين جي، اختلافًا طفيفًا. لديه مجموعة NH2 إضافية ملحقة.



أمبيسيلين

المجموعة الجانبية في الأموكسيسيلين، وهي اليوم واحدة من أكثر الأدوية الموصوفة على نطاق واسع في الولايات المتحدة، تشبه إلى حد كبير الأمبيسيلين ولكن مع وجود مجموعة هيدروكسيل

(OH) إضافية. يمكن أن تكون المجموعة الجانبية بسيطة تمامًا، كما في البنسلين أوه (O)، أو أكثر تعقيدًا، كما في الكلوكساسيللين.



تنبه المجموعات الجانبية في الجزء المحاط بدائرة من جزيء الأموكسيسيلين (عن اليسار)، البنسلين O (في الوسط)، وكلوكساسيلين (عن اليمين)

هذه ليست سوى أربعة من أنواع البنسلين العشرة المختلفة التي لا تزال قيد الاستخدام حتى اليوم. (يوجد الكثير منها لكنها لم تعد تستخدم سريريًّا.) قد تتغير التعديلات في البنية، في الموقع نفسه (المحاط بدائرة) على الجزيء، تغيرًا متباينًا، ولكن الحلقة الرباعية (بيتا لاكتام) موجودة دائمًا. هذه القطعة للبنية الجزيئية التي ربما تكون قد أنقذت حياتك، إذا ما دعت الحاجة إلى استخدام المضاد الحيوي البنسلين.

على الرغم من أنه من المستحيل الحصول على إحصائيات دقيقة للوفيات خلال القرون السابقة، فإن علماء السكان قدروا متوسط العمر في بعض المجتمعات من 3500 قبل الميلاد وحتى عام 1750 بعد الميلاد تقريبًا، وهي فترة تزيد عن خمسة آلاف عام، وكان متوسط العمر المتوقع بين المجتمعات الأوروبية يتراوح بين ثلاثين عامًا وأربعين عامًا؛ وفي اليونان القديمة، حوالي في عام 680 قبل الميلاد، ارتفع المعدل إلى واحد وأربعين عامًا؛ أما في تركيا في عام 1400 ميلادي، فكانت المتوسط واحدًا وثلاثين عامًا فقط. هذه الأرقام

مماثلة لتلك الموجودة في البلدان المتأخرة في العالم اليوم. تترابط الأسباب الرئيسة الثلاثة وراء ارتفاع معدلات الوفيات هذه -عدم كفاية الإمدادات الغذائية، وسوء الصرف الصحي، والأمراض الوبائية- معًا على نحو وثيق. يؤدي سوء التغذية إلى زيادة التعرض للإصابة بالعدوى؛ كما يؤدي سوء الصرف الصحي إلى تهيئة ظروف مواتية للإصابة بالأمراض.

في تلك الأجزاء من العالم التي تتميز بكفاءة الزراعة ووجود نظام نقل جيد، زادت الإمدادات الغذائية. في الوقت نفسه، أدى التحسن الكبير في تدابير النظافة الشخصية والصحة العامة -من إمدادات المياه النظيفة، وأنظمة معالجة مياه الصرف الصحي، وجمع النفايات ومكافحة الحشرات، وبرامج التحصين والتطعيم الشاملة- إلى انخفاض عدد الأوبئة وتعزيز صحة السكان إلى حد يجعلهم أكثر قدرة على مقاومة الأمراض. بسبب هذه التحسينات، انخفضت معدلات الوفيات في العالم المتقدم انخفاضًا مطردًا منذ ستينيات القرن التاسع عشر. لكن الهجوم الأخير على تلك البكتيريا التي تسببت على مدى أجيال في بؤس وموت لا يوصفان، كان عن طريق المضادات الحيوية.

منذ ثلاثينيات القرن العشرين، لوحظ تأثير هذه الجزيئات في معدلات الوفيات الناجمة عن الأمراض المعدية. بعد إدخال أدوية السلفا لعلاج الالتهاب الرئوي، وهو أحد المضاعفات الشائعة لفيروس الحصبة، انخفض معدل الوفيات بسبب الحصبة انخفاضًا سريعًا. فالالتهاب الرئوي، والسل، والتهاب المعدة، ومرض الدفتيريا، وكلها من بين الأسباب الرئيسة للوفاة في الولايات المتحدة

في عام 1900، لم تعد موجودة في القائمة اليوم. في الأماكن التي وقعت فيها حوادث معزولة من الأمراض البكتيرية -الطاعون الدبلي، والكوليرا، والتيفوس، والجمرة الخبيثة- اشتملت المضادات الحيوية على ما كان من الممكن أن يصبح غزوًا واسع النّطاق. أدت أعمال الإرهاب البيولوجي التي وقعت اليوم إلى تركيز الاهتمام العام على احتمال انتشار وباء بكتيري كبير. من الطبيعي أن تكون مجموعتنا الحالية من المضادات الحيوية قادرة على التعامل مع مثل هذا الهجوم.

يوجد شكل آخر من أشكال الإرهاب البيولوجي، الذي تشنه البكتيريا نفسها عند تكيفها مع استخدامنا المتزايد، بل وحتى الإفراط في استخدام المضادات الحيوية، وهو أمر مثير للقلق. أصبحت السلالات المقاومة للمضادات الحيوية لبعض أنواع البكتيريا الشائعة، ولكنها قد تكون مميتة، منتشرة على نطاق واسع. لكن مع تعلم علماء الكيمياء الحيوية المزيد عن المسارات الأيضية للبكتيريا -وللبشر- وكيفية عمل المضادات الحيوية القديمة، فمن المفترض أن يصبح من الممكن تصنيع مضادات حيوية جديدة قادرة على استهداف تفاعلات بكتيرية محددة. فهم الصيغ البنائية وكيفية تفاعلها مع الخلايا الحية لهو أمر ضروري للحفاظ على التفوق في الصراع الذي لا ينتهي مع البكتيريا المسببة للأمراض.

الفصل الحادي عشر

حبوب منع الحمل

شاع، بحلول منتصف القرن العشرين، استخدام المضادات الحيوية والمطهرات، مما أدى إلى انخفاض معدلات الوفيات انخفاضًا كبيرًا، وبخاصة بين النساء والأطفال. لم تعد الأسر بحاجة إلى إنجاب عدد كبير من الأطفال لضمان أن يعيش بعضهم إلى مرحلة النضج. مع تضاؤل شبح فقدان الأطفال بسبب الأمراض المعدية، تصاعدت أصوات تُطالب بالحد من حجم الأسرة من خلال وسائل منع الحمل. في عام 1960 ظهر جزيء مانع للحمل لعب دورًا رئيسًا في تشكيل المجتمع المعاصر.

نشير بكل بيان ووضوح إلى أن *نُوريثيندرون* هو أول وسيلة لمنع الحمل عن طريق الفم، المعروف عادة باسم «حبوب منع الحمل». يُنسب الفضل إلى هذا الجزيء -أو يُوجه إليه الاتهام (وفقًا لرؤيتك الشخصية)- في إثارة الثورة الجنسية في الستينيات، وحركة تحرير المرأة، وصعود الحركة النسوية، وزيادة نسبة عدد النساء في أماكن العمل، بل وانهيار الأسرة. على الرغم من اختلاف الآراء حول فوائد هذا الجزيء أو عيوبه، فقد لعب دورًا مهمًا في التغيرات الهائلة التي طرأت على المجتمع خلال الأربعين عامًا تقريبًا منذ ظهور حبوب منع الحمل.

قد تبدو محاولات الكفاح والنضال من أجل الحصول بصورة قانونية على المعلومات والإمدادات اللازمة لتحديد النسل، تلك التي قام بها في أوائل القرن الماضي مصلحون بارزون مثل مارجريت سانجر في الولايات المتحدة وماري ستوبس في بريطانيا، أمرًا بعيد عن مُحيط إدراكنا الآن. كثيرًا ما يُثار دهشة الشباب الصغار عندما يسمعون أن قديمًا مجرد توفير معلومات عن وسائل منع الحمل يكافئ ارتكاب جريمة في كثير من البلدان خلال العقود الأولى من القرن العشرين. لكن الحاجة الماسة القائمة آنذاك دعت إلى ذلك: فارتفاع معدلات وفيات الرضع ووفيات الأمهات في المناطق الفقيرة من المدن غالبًا وُجِدَ بين الأسر كثيرة العدد. أمَّا عائلات الطبقة الوسطى فكانت تستخدم فعليًّا وسائل منع الحمل المتاحة آنذاك، وكذلك لجأت نساء الطبقة العاملة لحاجة ماسة إلى الاطلاع على هذه المعرفة وإمكانية الوصول إليها. فالرسائل المكتوبة المُرسلة إلى دعاة تحديد النسل التي كتبتها أمهات الأسر كثيرة العدد، توضح تفاصيل اليأس الذي شعرن به في أثناء التورط في حمل آخر غير مرغوب فيه. بحلول ثلاثينيات القرن العشرين، تزايد القبول العام لتحديد النسل، الذي غالبًا ما يُصاغ باستخدام المصطلح الأكثر قبولًا وهو *تنظيم الأسرة*؛ شاركت العيادات الصحية والأطقم الطبية في وصف وسائل منع الحمل، وتغيرت القوانين، على الأقل في بعض الأماكن. أمَّا في الحالات التي ظلت فيها القوانين المُقَيِّدة قائمة، فصارت الدعاوى والمحاكمات القضائية أقلَّ شيوعًا، وبخاصة إذا جرى التعامل مع مسائل منع الحمل سرًّا.

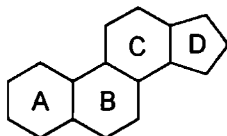
المحاولات المبكرة لتناول وسائل الحمل عن طريق الفم

بمرور القرون وفي كل ثقافة، ابتلعت النساء الكثير من المواد على أمل أن تمنع الحمل. لم يكن أي من هذه المواد ليحقق هذا الهدف إلا، على الأرجح، بإصابة المرأة بمرضٍ يعجزها عن الحمل. أمَّا بعض العلاجات فكانت تركيبتها غير معقدة إلى حد ما: شاي البقدونس والنعناع أو لحاء الزعرور أو اللبلاب أو الصفصاف أو دوَّار الشمس أو الآس أو الحور. كما اقترحت مخاليط تحتوي على بيض العناكب أو الثعابين. كما أوصي بالفواكه والزهور والفاصوليا الحمراء وأنوية المشمش والجرعات العشبية المختلطة. في وقت ما، ظهر البغل على نحوٍ بارز ضمن وسائل منع الحمل، من المفترض لأن البغل هو نسل عقيم من أنثى الحصان وذكر الحمار. ادّعوا أنَّ العقم يتحقق إذا أكلت المرأة كلية بغل أو رحمه. أمَّا عقم الذكور، فلم تكن مساهمة الحيوان أقل لذة؛ كان على الرجل أن يأكل الخصي المحروقة للبغال المخصية. لربما كان التسمم بالزئبق وسيلة فعالة للعقم في حالة عقم امرأة ابتلعت علاجًا صينيًا من القرن السابع الميلادي يتكون من عنصر الفضة الفرَّار (اسم قديم للزئبق) مقلي في الزيت، هذا إذا لم يقتلها أولًا. شُرِبت محاليل أملاح النحاس المختلفة على أمل أنها وسيلة لمنع الحمل في اليونان القديمة وفي أجزاء من أوروبا في القرن التاسع عشر. توجد طريقة غريبة أصلها يعود إلى العصور الوسطى حيث طُلِبَ من امرأة أن تبصق ثلاث مرات في فم ضفدع. حينها تصبح المرأة عقيمة، وليس الضفدع!

في حين أن بعض المواد التي تُلطخ بها أجزاء مختلفة من الجسم لمنع الحمل ربما كانت لها خصائص قاتلة للحيوانات المنوية، فإن ظهور وسائل لمنع الحمل تتناول عن طريق الفم في منتصف القرن العشرين هو أوَّل وسيلة كيميائية آمنة وفعالة لتحديد النسل. نوريثيندرون هو واحد من مجموعة من المركبات المعروفة باسم الستيرويدات، وهو اسم كيميائي مناسب لما تحمله الكلمة من معنى يشمل الآن العقاقير المعززة للأداء التي يستخدمها بعض الرياضيين استخدامًا غير قانوني. من المؤكد أن مثل هذه الأدوية هي المنشطات، وكذلك هو وصف الكثير من المركبات الأخرى التي لا علاقة لها بالبراعة الرياضية؛ لذا سنستخدم مصطلح *الستيرويد* بالمعنى الكيميائي الأشمل.

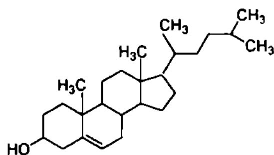
يُمكن لتغييرات ضئيلة في الصيغة البنائية، في حال كثير من الجزيئات، أن تؤدي إلى تغييرات هائلة في التأثير. يتجلى هذا بوضوح في بنية الهرمونات الجنسية: الهرمونات الجنسية الذكرية (الأندروجينات)، والهرمونات الجنسية الأنثوية (الإستروجين)، وهرمونات الحمل (البروجستينات).

لجميع المركبات التي تصنف على أنها استيرويدات لها النمط الجزيئي الأساس نفسه، أي سلسلة من أربع حلقات مندمجة بالطريقة نفسها. تحتوي كل حلقة من ثلاث حلقات منها على ست ذرات كربون، أما الرابعة فبها خمس ذرات. يشار إلى هذه الحلقات بالحلقات A، وB، وC، وD، وتكون الحلقة D دائمًا خماسية.



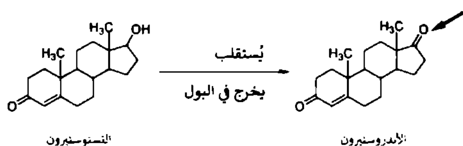
الحلقات الأربعة الأساسية لتركيب الستيرويد، تظهر برموز *A, B, C, D*

يوجد الكوليسترول، وهو الأكثر انتشارًا بين جميع الستيرويدات الحيوانية، في معظم الأنسجة الحيوانية، بمستويات عالية خصوصًا في صفار البيض وحصوات المرارة الموجودة في جسم الإنسان. ساءت سمعة هذا الجزيء من دون وجه حقٍ. فنحن بحاجة إلى الكوليسترول في نظامنا؛ يلعب دورًا حيويًا بصفته جزيئًا أوليًّا لجميع المنشطات الأخرى لدينا، بما في ذلك الأحماض الصفراوية (المركبات التي تمكننا من هضم الدهون والزيوت) والهرمونات الجنسية. ما لا نحتاج إليه هو الكثير من الكوليسترول الزائد في نظامنا الغذائي، إذ إننا نُصنع ما يكفي من الكوليسترول في أجسادنا. يُظهر التركيب الجزيئي للكوليسترول الحلقات الأربع الأساسية المندمجة بالإضافة إلى المجموعات الجانبية، بما في ذلك عدد من مجموعات الميثيل (CH3، التي تُكتب أحيانًا باسم H_3C، فقط ليسهل كتابتها مع الرسم).



الكوليسترول، وهو الستيرويد الحيواني الأكثر انتشارًا

عُزِلَ هرمون التستوستيرون، وهو الهرمون الجنسي الرئيس للذكور، لأول مرة من خصيتي الثور بالكامل في عام 1935، لكنه لم يكن أول هرمون جنسي ذكري يُعزل. بل هذا الهرمون هو الأندروستيرون، وهو شكل مختلف من هرمون التستوستيرون يُستقلب وأقل فعالية ويخرج في البول. كما ترون من المقارنة بين التركيبين، الفارق بينهما ضئيل، الأندروستيرون هو نسخة مؤكسدة حيث حلت ذرة الأكسجين مزدوجة الرابطة محل مجموعة الهيدروكسيل (OH) من التستوستيرون.

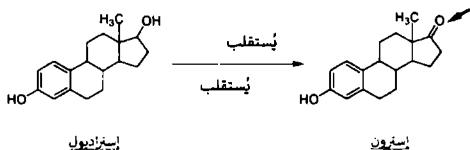


يختلف الأندروستيرون عن التستوستيرون في موضع واحد فقط (موضح بالسهم).

أُجري أول عزل لهرمون ذكري في عام 1931 عندما حُصِلَ على خمسة عشر ملليجرامًا من الأندروستيرون من خمسة عشر ألف لتر من البول جُمع من قوات الشرطة البلجيكية، التي على ما يبدو أنها وظيفها شغلها الذكور فقط في تلك الأيام.

أمَّا أول هرمون جنسي عُزل على الإطلاق فهو الهرمون الجنسي الأنثوي إسترون، الذي حُصل عليه في عام 1929 من بول النساء الحوامل. كما هو الحال مع الأندروستيرون والتستوستيرون، فإن الإسترون هو نوع استقلابي للهرمون الجنسي الأنثوي الرئيس والأكثر فعالية، استراديول. تؤدي عملية أكسدة مماثلة إلى تغيير

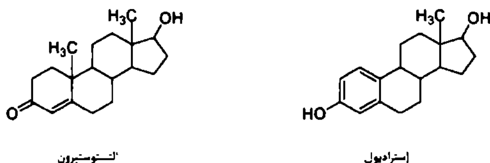
مجموعة الهيدروكسيل (OH) الموجود على الإستراديول إلى أكسجين مزدوج الرابطة.



يختلف الإسترون عن الإستراديول في موضع واحد فقط (كما هو موضح بالسهم).

هذه الجزيئات موجودة في أجسامنا بكميات ضئيلة: استُخدم أربعة أطنان من مبايض الخنازير لاستخراج اثني عشر ملليجرامًا فقط من أول إستراديول معزول.

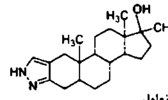
ومن المثير للاهتمام أن نفكر في مدى التشابه البنيوي بين هرمون التستوستيرون الذكري وهرمون الإستراديول الأنثوي. بمجرد إحداث تغييرات قليلة في البنية الجزيئية يحدث فارقًا هائلًا.

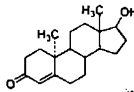


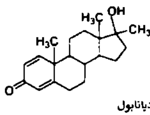
إن كان لديك أقل من مجموعة CH3، ومجموعة هيدروكسيل (OH) بدلًا من ذرة أكسجين المرتبطة برابطة مزدوجة، وعدد أكبر قليلًا من روابط الكربون المزدوجة (C=C)، فإذن عند البلوغ، بدلًا

من أن تتطور السمات الذكرية الجنسية الثانوية (شعر الجسم والوجه، والصوت العميق، والعضلات الأثقل)، سينمو نهداك، ويصبح فخذيك أعرض، وتأتيك الدورة الشهرية.

التستوستيرون هو ستيرويد ابْتِنائِيّ، مما يعني أنه ستيرويد يُعزز نمو العضلات. أمَّا التستوستيرون الصناعي -المركبات المُصنَّعة التي تُحفز نمو أنسجة العضلات- فلديها بنية مشابهة للتستوستيرون. صُنِّعت للاستخدام عند الإصابة بجروح أو أمراض تسبب إنهاك العضلات. عند تناول جرعات بمستويات مقررة بوصفة طبية، فإن هذه العقاقير تعمل على إعادة التأهيل مع التسبب بتأثير ذكورة طفيف، لكن عند استخدام هذه الاستيرويدات الاصطناعية، مثل الديانابول أو ستانوزولول، فإنها تُستخدم أكبر عشر مرات أو عشرين مرة مما يستخدمه الرياضيون الذين يرغبون في «بناء العضلات وتقويتها»، وبذلك الآثار الجانبية لها التي قد تكون مُدمرة.





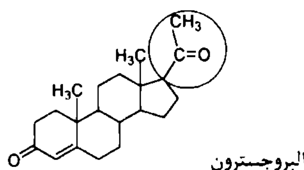


الاستيرويدان الاصطناعيان ديانابول وتستانوزولول مقارنة بالستيرويد الطبيعي تستوستيرون

أمَّا زيادة خطر الإصابة بسرطان الكبد وأمراض القلب، وارتفاع مستويات العدوان، وحب الشباب الكثيف، والإصابة بالعقم، وانكماش الخصيتين فليست سوى عدد قليل من الأخطار الناجمة عن سوء استخدام هذه الجزيئات. قد يبدو غريبًا إلى حدٍ ما أن الستيرويد الأندروجيني الاصطناعي، الذي يعزز الخصائص الثانوية الذكرية،

يتسبب في تقلص الخصيتين، لكن تفسير ذلك أنه عندما يتوافر التستوستيرون الاصطناعي من مصدر خارج الجسم، فإن الخصيتين -لم تعودا بحاجة إلى القيام بوظيفتهما- تضمران.

وجود بنية جزيء مشابهة لهرمون التستوستيرون لا يعني بالضرورة أنه يعمل مثل هرمون الذكورة. البروجسترون، هرمون الحمل الرئيس، ليس فقط له بنية أقرب إلى هرمون التستوستيرون والأندروستيرون من ستانوزولول ولكنه أيضًا يشبه الهرمونات الجنسية الذكرية أكثر من هرمون الإستروجين. في البروجسترون، تحل مجموعة CH_3CO (محاطة بدائرة في الرسم) محل مجموعة الهيدروكسيل (OH) من التستوستيرون.



البروجسترون

هذا هو الاختلاف الوحيد في الصيغة البنائية بين البروجسترون والتستوستيرون، ولكنه يحدث فارقًا كبيرًا في وظيفة الجزيء. يرسل هرمون البروجسترون إشارات إلى بطانة الرحم للتهيؤ لغرس البويضة المخصبة. لا تحمل المرأة الحامل مرة أخرى خلال فترة حملها لأن الإمداد المستمر بالبروجسترون يمنع حدوث المزيد من التبويض. هذا هو الأساس البيولوجي لمنع الحمل الكيميائي: مصدر خارجي للبروجسترون، أو مادة شبيهة بالبروجسترون، قادر على تثبيط التبويض.

تُواجه بعض المشكلات عند التعامل مع هرمون البروجيسترون بوصفه وسيلة لمنع الحمل. يجب حقن البروجسترون؛ تقل فعاليته كثيرًا عند تناوله عن طريق الفم، ربما لأنه يتفاعل مع أحماض المعدة أو المواد الكيميائية الهضمية الأخرى. كما توجد مشكلة أخرى (كما رأينا عند عزل مليجرامات الإستراديول من أطنان من مبيض الخنازير) وهي أن الستيرويدات الطبيعية توجد بكميات ضئيلة في الحيوانات. لذا استخراجها من هذه المصادر ليس عمليًّا.

الحل لهذه المشكلات هو تصنيع هرمون البروجسترون الصناعي الذي يظل فعّالًا ونشطًا عند تناوله عن طريق الفم. لكي يُمكن تصنيع هذا على نطاق واسع، يحتاج المرء إلى مادة أولية يكون فيها نظام الستيرويد يوجد فيه حلقات رباعية، مع مجموعات $CH3$ في مواقع. بمعنى آخر، يتطلب تخليق جزيء يحاكي دور البروجسترون مصدرًا مناسبًا لكميات كبيرة من ستيرويد آخر يمكن تغيير تركيبه في المختبر بالتفاعلات الصحيحة.

مغامرات راسل ماركر المذهلة

عرضنا المشكلة هنا الآن، لكن ينبغي التأكيد على أننا لا نزال ننظر إليها من منظور حديث زمنيًّا. جاء تصنيع أول حبة منع الحمل نتيجة لمحاولة حل مجموعة مختلفة تمامًا من الألغاز. لم يكن لدى الكيميائيين المنخرطين في المحاولات أي فكرة أنهم سينتجون في نهاية المطاف جزيئًا من شأنه أن يدفع حركة التغيير الاجتماعي، ويمنح النساء السيطرة على حياتهن، ويغير الأدوار الاجتماعية التقليدية للجنسين. وكذا راسل ماركر، الكيميائي الأمريكي الذي أسهم عمله المهم في

تطوير حبوب منع الحمل، ليس استثناء للقاعدة؛ لم يهدف من تجربته الكيميائية إلى إنتاج جزيء مانع للحمل، بل إلى العثور على طريق ميسور التكلفة لإنتاج جزيء ستيرويد آخر، وهو الكورتيزون.

عاش ماركر حياته في صراعٍ مستمر مع التقاليد والسلطة، ولعل ذلك خليق برجلٍ ساعدت إنجازاته الكيميائية في تحديد الجزيء الذي عليه أيضًا أنْ يحارب التقاليد والسلطة. التحق بالمدرسة الثانوية ثم بالجامعة ضد رغبة والده المزارع، وبحلول عام 1923 حصل على درجة البكالوريوس في الكيمياء من جامعة ميريلاند. في حين أنه ظلَّ يقول إنه واصل تعليمه بهدف «التوقف عن العمل في المزرعة»، فإن لماكر قدرة واهتمامًا بالكيمياء كان لهما من التأثير الذي عضَّد قراره بمتابعة الدراسة للحصول على درجة الدراسات العليا.

ومع انتهاء أطروحته للدكتوراه والانتهاء من نشرها في *مجلة الجمعية الكيميائية الأمريكية*، قيل لماركر إنه بحاجة إلى الالتحاق بدورة دراسية أخرى، دورة في الكيمياء الفيزيائية، ليستوفي متطلبات درجة الدكتوراه. أحسَّ ماركر أنَّ هذا مضيعة لوقته الثمين الذي يُمكنه أن يصرفه بدلًا من ذلك في المعمل. على الرغم من التحذيرات المتكررة التي قالها أساتذته مثل عدم توافر فرصة للعمل في مجال البحوث الكيميائية من دون الحصول على درجة الدكتوراه، فإنه ترك الجامعة. بعد ثلاث سنوات، انضم إلى هيئة التدريس في معهد روكفلر المرموق في مانهاتن، ومن الواضح أن مواهبه تغلبت على عائق عدم إكمال درجة الدكتوراه.

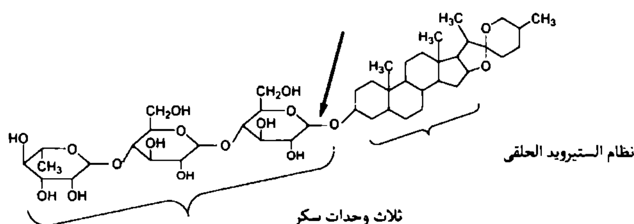
هناك أصبح ماركر مهتمًا بالاستيرويدات، وبخاصة اهتم بإعداد طريقة لإنتاج كميات كبيرة بما يكفي تُمكّن الكيميائيين من تجربة طرق لتغيير بنية المجموعات الجانبية المختلفة في الحلقات الرباعية للاستيرويد. في هذا الوقت، وصلت تكلفة البروجسترون المعزول من بول الأفراس الحوامل -أكثر من 1000 دولار للجرام- إلى درجة تفوق إمكانات الكيميائيين البحثيين. استخدمت الكميات الصغيرة المستخرجة من هذا المصدر بصورة أساسية على يد مالكي خيول السباق الأثرياء لمنع الإجهاض في حظوتهم النفيسة المتكاثرة.

عرف ماركر أن المركبات المحتوية على الستيرويد موجودة في عدد من النباتات، بما في ذلك قفاز الثعلب، وزنبق الوادي، والسارساباريلا[1]، ونبات أولياندرين[2]. على الرغم من أن عزل نظام الستيرويد رباعي الحلقات فقط لم يكن ممكنًا حتى الآن، فكمية هذه المركبات الموجودة في النباتات أكبر بكثير منها في الحيوانات. اتضح لماركر أن هذا هو الطريق الذي يجب اتباعه، لكنه مرة أخرى هو طريق ضد التقاليد والسلطة. التقليد السائد في معهد روكفلر هو أن كيمياء النبات تنتمي إلى قسم الصيدلة، وليس قسم ماركر. منعت السلطة، المتمثلة في شخص رئيس معهد روكفلر، ماركر من العمل على الاستيرويدات النباتية.

(1) ملحوظة المترجمة: يُعرف باسم نبات الفشاغ.

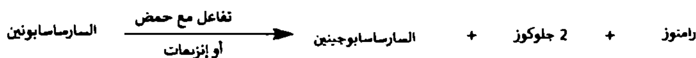
(2) ملحوظة المترجمة: يُعرف كذلك باسم نبات الدفلى.

غادر ماركر معهد روكفلر. ثم حصل بعد ذلك على الزمالة في كلية ولاية بنسلفانيا، حيث واصل العمل على الاستيرويدات، ليتعاون في النهاية مع شركة الأدوية بارك ديفيز. ولقد تحقق في عالم النبات ما مكَّن ماركر في نهاية المطاف من إنتاج كميات كبيرة من الستيرويدات التي كان يحتاج إليها في عمله. بدأ بجذور نبات السارساباريلا (المستخدم لإضافة نكهة إلى مشروبات الروت بير والمشروبات الأخرى المشابهة)، التي كان من المعروف أنه يحتوي على مركبات تسمى *السابونين*، سميت بهذا الاسم بسبب قدرتها على تكوين محاليل صابونية أو رغوية في الماء. السابونين هي جزيئات معقدة، على الرغم من أنها ليست بحجم جزيئات البوليمر مثل السليلوز أو اللجنين. يتكون السارساسابونين، السابونين المستخرج من نبات السارساباريلا، من ثلاث وحدات سكر متصلة بنظام حلقة الستيرويد، التي بدورها تندمج عند الحلقة D في حلقتين أخريين.

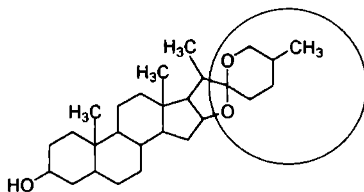


تركيب السارساسابونين، جزيء السابونين من نبات السارساباريلا

عُرف أن إزالة وحدات السُكر الثلاثة؛ وحدتي جلوكوز ووحدة سكر مختلفة تسمى رامنوز، أمر هيِّن. مع وجود حمض، تنقسم وحدات السكر عند النقطة المشار إليها بالسهم في الصيغة البنائية السابقة.



ثم يأتي الجزء المتبقي من الجزيء، وهو السابوجينين، وحده الذي يُسبب المشكلات. للحصول على نظام حلقة الستيرويد من السارساسابوجينين، من الضروري إزالة المجموعة الجانبية المحاطة بدائرة في الرسم التالي. سادت حكمة كيميائية في ذلك الوقت وهي أن هذا لا يمكن القيام به، ليس من دون تدمير أجزاء أخرى من البنية الستيرويدية.



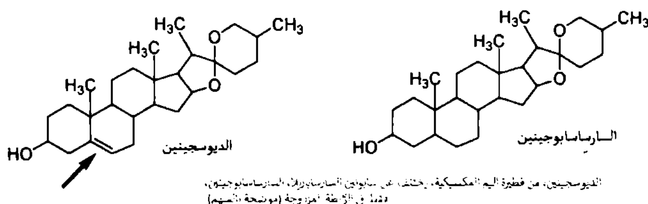
السارساسابوجينين، سابونين من نبات السارساباريلا

تيقن ماركر عين اليقين من إمكانية تحقيق ذلك، وقد أصاب. أسفرت العملية التي أعدها عن إنتاج النظام الستيرويدي الأساسي رباعي الحلقات الذي أعطى، بعد خطوات قليلة فقط، هرمون

البروجسترون الاصطناعي النقي، المطابق كيميائيًّا لذلك الذي يُنتج في جسم الأنثى. بمجرد إزالة المجموعة الجانبية، أصبح تصنيع الكثير من المركبات الستيرويدية الأخرى ممكنًا. لا يزال هذا الإجراء -أي إزالة المجموعة الجانبية السابوجينين من نظام الستيرويد- يستخدم حتى اليوم في صناعة الهرمونات الاصطناعية التي تبلغ قيمتها مليارات الدولارات. تُعرف الآن باسم «تفكك ماركر»

واجه ماركر تحديًّا آخر بعد ذلك وهو إمكانية العثور على نبات يحتوي على كمية أكبر من المادة الأولية مقارنة بنبات السارساباريلا. يمكن العثور على السابونينات الستيرويدية، المشتقة عن طريق إزالة وحدات السكر من السابونينات الأم، في كثير من النباتات غير السارساباريلا، بما في ذلك التريليوم، واليوكا، وقفاز الثعلب، ونبات أغاف كاكتس، والهليون. أسفر بحثه، الذي شمل مئات النباتات الاستوائية وشبه الاستوائية، في النهاية إلى العثور على نوع من *الديوسكوريا*، وهو نبات يام بري يوجد في جبال مقاطعة فيراكروز المكسيكية. كان ذلك في أوائل عام 1942، والولايات المتحدة متورطة في الحرب العالمية الثانية. لم تكن السلطات المكسيكية تصدر تصاريح لجمع النباتات، ونُصح ماركر بعدم المغامرة بدخول المنطقة لجمع البطاطا. ونظرًا إلى أنَّ مثل هذه النصائح لم تُثنِ عزيمة ماركر سابقًا، فإنها لا تُعجزه هنا أيضًا. سافر بالحافلة المحلية، ووصل في النهاية إلى المنطقة التي قيل له إن النبات ينمو فيها. هناك جمع كيسين من الجذور السوداء التي يبلغ طولها قدمًا من نبات *كابيزا دي نيجرو* (الرأس الأسود)، كما كانت البطاطا معروفة محليًّا.

عندما عاد إلى ولاية بنسلفانيا، استخرج سابوجينين مشابهًا إلى حدٍ كبير للسارساسابوجينين المستخرج من نبات السارساباريلا. الاختلاف الوحيد هو وجود رابطة مزدوجة إضافية (كما يُشار إليها بالسهم في الرسم التالي) موجودة في الديوسجينين، وهو السابوجينين الموجود في البطاطا البرية.



في عملية تفكك ماركر أُزيلت المجموعة الجانبية غير المرغوب فيها، وأنتجت التفاعلات الكيميائية الإضافية كمية كبيرة من البروجسترون. ظلَّ ماركر مقتنعًا بأن طريقة الحصول على كميات كبيرة من الهرمونات الستيرويدية بتكلفة معقولة هي إنشاء مختبر في المكسيك واستخدام المصدر الوفير في بطاطا اليام المكسيكية.

في حين أنَّ هذا الحل بدا منطقيًّا ومعقولًا وعمليًّا في نظر ماركر، فإنه لم يكن كذلك في رأي شركات الأدوية الكبرى التي حاولت أن تُولي عناية بمخططه. ها هي ثنائية السُلطة والتقاليد تقف حاجزًا في طريقه. أخبرته إدارات شركة الأدوية إن المكسيك ليس لديها تاريخ في إجراء مثل هذه التركيبات الكيميائية المعقدة. نظرًا إلى أنَّه لم يُستطع الحصول على الدعم المالي من الشركات القائمة، قرر ماركر أن يدخل بنفسه في مجال إنتاج الهرمونات. استقال من كلية ولاية بنسلفانيا

وانتقل في النهاية إلى مكسيكو سيتي، حيث أسس في عام 1944 وبالشراكة مع آخرين شركة سينتكس (مشتقة من كلمة اصطناعية ومكسيك معًا[1])، وهي شركة الأدوية التي أصبحت رائدة عالميًا في المنتجات الستيرويدية.

لكن لم تستمر العلاقة بين ماركر وشركة سينتكس. نشبت خلافات بشأن المدفوعات والأرباح وبراءات الاختراع أدت إلى رحيله. حينها أنشأ شركة أخرى، وهي شركة بوتانيكا مكس، اشترتها في نهاية المطاف شركات الأدوية الأوروبية.



راسل ماركر، الذي سمح تطويره لسلسلة من الخطوات الكيميائية المعروفة باسم تفكك ماركر للكيميائيين بالوصول إلى جزيئات الستيرويد النباتية الوفيرة. (الصورة مقدمة من جامعة ولاية بنسلفانيا)

(1) ملحوظة المترجمة: اسم الشركة بالإنجليزي Syntex، حيث تُشير الحروف Synt إلى كلمة اصطناعي Synthesis، وex إلى جزء من كلمة المكسيك.

بحلول هذا الوقت، اكتشف ماركر أنواعًا أخرى من الديوسكوريا التي تميزت بكمية أكثر وفرة من جزيء الديوسجينين المحتوي على الستيرويد. انخفضت تكلفة البروجسترون الاصطناعي انخفاضًا مطردًا. صارت بطاطا اليام، التي كانت ذات يوم جذرًا غامضًا يستخدمه المزارعون المحليون فقط سُمًّا للأسماك- تُصيب الأسماك بحالة دوار لكنها ما زالت قابلة للأكل- تُزرع الآن بصفتها محصولًا تجاريًّا في المكسيك.

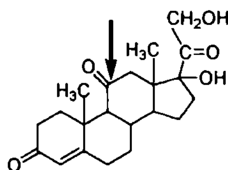
لطالما تردد ماركر في تسجيل براءات اختراع لمخترعاته، إذ شعر أن اكتشافاته يجب أن تُتاح للجميع. بحلول عام 1949، ساوره شعور بالاشمئزاز وخيبة الأمل من زملائه الكيميائيين ومن دافع الربح الذي رآه الآن صار الدافع وراء الأبحاث الكيميائية، إلى حد أنه دمر جميع ملاحظاته المخبرية وسجلات تجاربه في محاولة لإبعاد نفسه تمامًا عن ميدان الكيمياء. على الرغم من هذه الجهود، فإن التفاعلات الكيميائية التي ابتكرها ماركر معروفة اليوم على أنَّها العمل الذي جعل حبوب منع الحمل ممكنة.

تصنيع المنشطات الأخرى

في عام 1949، انضم مهاجر نمساوي شاب إلى الولايات المتحدة إلى منشأة أبحاث شركة سينتكس في مكسيكو سيتي. حينها كان كارل جيراسي أنهى توًّا درجة الدكتوراه في جامعة ويسكونسن، تضمنت أطروحته عملية التحويل الكيميائي للتستوستيرون إلى إستراديول. أرادت شركة سينتكس الوصول إلى طريقة لتحويل البروجسترون المتوافر حاليًا نسبيًّا من البطاطا البرية إلى جزيء

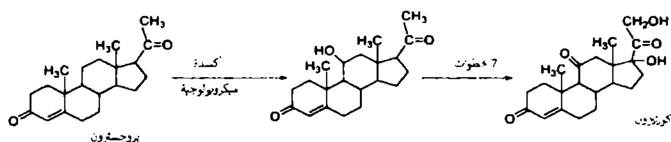
الكورتيزون. الكورتيزون هو واحد من ثمانٍ وعشرين هرمونًا مختلفًا على الأقل معزول من قشرة الغدة الكظرية (الجزء الخارجي من الغدد الكظرية المجاورة للكلى). وهو عامل قوي مضاد للالتهابات فعال تحديدًا في علاج التهاب المفاصل الروماتويدي. مثل الستيرويدات الأخرى، يُوجد الكورتيزون بكميات ضئيلة في الأنسجة الحيوانية. على الرغم من إمكانية تصنيعه في المختبر، هذه الطرق كانت باهظة الثمن. يتطلب التصنيع اثنتين وثلاثين خطوة، كما يجب عزل المادة الأولية، وهي حمض الديوكسيكوليك، من صفراء الثور، التي لم تكن وفيرة على الإطلاق.

أظهر جيراسي، باستخدام عملية تفكك ماركر، كيف يمكن إنتاج الكورتيزون بتكلفة أقل بكثير من مصدر نباتي مثل الديوسجينين. لكن أحد العوائق الرئيسة عند تصنيع الكورتيزون هو إرفاق الأكسجين المزدوج الرابطة بذرة الكربون رقم 11 على الحلقة C، وهو موضع لا يمكن استبداله في الأحماض الصفراوية أو الهرمونات الجنسية.



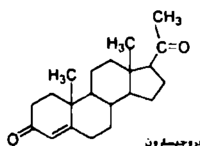
الكورتيزون. الرابطة C=O عند ذرة الكربون رقم 11، كما هو موضح بالسّهم

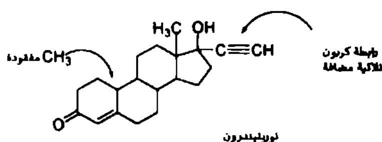
اكتُشفت طريقة جديدة لإرفاق الأكسجين في هذا الموضع لاحقًا باستخدام فطر *رايزوباس نيجريكانز*. نتج تأثير من المزيج من الفطريات والعنصر الكيميائي وهو إنتاج الكورتيزون من البروجسترون في ثماني خطوات فقط، واحدة ميكروبيولوجية وسبع خطوات كيميائية.



بعد النجاح في صنع الكورتيزون، عمل جيراسي على تصنيع كل من الإسترون والإستراديول من الديوسجينين، مما حقق لشركة سينتكس مكانة بارزة بصفتها موردًا عالميًّا رئيسًا للهرمونات والستيرويدات. انتقل إلى مشروعه التالي وهو صنع البروجستين الصناعي، مركب له خصائص تشبه البروجسترون ولكن يمكن تناوله عن طريق الفم. لم يهدف من البداية إلى صُنع حبوب منع الحمل. استُخدم البروجسترون، المتوافر الآن بتكلفة معقولة -تكلفة الجرام أقل من دولار- لعلاج النساء اللائي لديهن تاريخ من الإجهاض. كان لا بد أن يُحقن بجرعات كبيرة نسبيًّا. قادت قراءة جيراسي للأدبيات العلمية إلى أن ينتابه الشَّك في أن استبدال مجموعة، في الحلقة D، ذات رابطة ثلاثية بين ذرات الكربون (=) قد يسمح للجزيء بالاحتفاظ بفعاليته عند ابتلاعه. أفاد تقرير آخر أن إزالة مجموعة CH3 -ذرة الكربون -19 يبدو أنها تزيد من فعالية

الجزيئات الأخرى الشبيهة بالبروجسترون. خرج الجزيء الذي أنتجه جيراسي وفريقه وحصل على براءة اختراع في نوفمبر 1951 أقوى بثماني مرات من البروجسترون ويمكن تناوله عن طريق الفم. سُمي نوريثيندرون، تشير البادئة نُور إلى غياب مجموعة CH3.





وجَّه منتقدو حبوب منع الحمل اتهامًا بأن هذه الحُبوب قد صنعها الرَّجال لتتناولها النساء. في حقيقة الأمر، فإن الكيميائيين الذين انخرطوا في تصنيع الجزيء الذي خرج في صورة حبوب منع الحمل، هم رجال، ولكن كما قال جيراسي، الذي يُعرف الآن أحيانًا «بأبي حبوب منع الحمل»، بعد سنوات: «لم نتخيل في أقصى أحلامنا جموحًا أنَّ تصبح هذه المادة في النهاية المكوِّن الفعال لحوالي نصف حبوب منع الحمل التي تتناول عن طريق الفم على مستوى العالم.» صُمِّم نوريثيندرون بصفته علاجًا هرمونيًّا لدعم الحمل أو لتخفيف عدم انتظام الدورة الشهرية، وبخاصة عندما يُفقد دم غزير. ثم في أوائل الخمسينيات من القرن الماضي، تولت امرأتان زمام القوة الدافعة المسؤولة عن تغيير دور هذا الجزيء من علاج محدود للعقم إلى عامل يومي في حياة ملايين لا حصر لها من النساء.

أمهات حبوب منع الحمل

سُجنت مارجريت سانجر، مؤسسة الاتحاد الدولي لتنظيم الأسرة، في عام 1917 لأنها أعطت وسائل منع الحمل لنساء مهاجرات في عيادة في بروكلين. لطالما آمنت طوال حياتها إيمانًا راسخًا بحق المرأة في التحكم في جسدها وخصوبتها. أمَّا كاثرين ماكورميك فهي واحدة من أوائل النساء اللائي حصلن على شهادة جامعية في علم الأحياء من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا. كما أنها أصبحت فاحشة الثراء بعد وفاة زوجها. عرفت مارجريت سانجر منذ أكثر من ثلاثين عامًا، حتى أنها ساعدتها في تهريب العوازل الأنثوية غير القانونية لمنع الحمل إلى الولايات المتحدة، وقدمت لها المساعدة المالية في قضية تحديد النسل. وصلت كلتا المرأتين إلى عمر السبعين عندما سافرتا إلى شروزبري في ولاية ماساتشوستس للقاء جريجوري بينكوس، المتخصص في خصوبة الإناث أحد مؤسسي منظمة صغيرة غير ربحية تسمى مؤسسة ورسستر للبيولوجيا التجريبية. تحدت سانجر الدكتور بينكوس لإنتاج «وسيلة منع حمل مثالية» آمنة ورخيصة وموثوقة ويمكن «ابتلاعها مثل الأسبرين». دعمت ماكورميك مشروع صديقتها دعمًا ماليًا وأسهمت على مدار الخمسة عشر عامًا التالية بأكثر من ثلاثة ملايين دولار في هذه القضية.

تحقق بينكوس وزملاؤه في مؤسسة ووستر لأول مرة من صحة تثبيط هرمون البروجسترون لعملية التبويض. تم عملهم باستعمال الأرانب؛ لم يزل الأمر كذلك حتى التقى بينكوس باحثًا آخر في مجال التكاثر، وهو الدكتور جون روك من جامعة هارفارد، حيث أدرك

مدى إتاحة الحصول على نتائج مماثلة بإجراء التجارب على الإنسان. كان روك طبيبًا نسائيًا يعمل على التغلب على مشكلات الخصوبة التي أصابت مرضاه. كان منطقه في استخدام البروجسترون لعلاج العقم يفترض أن منع الخصوبة بتثبيط التبويض لبضعة أشهر من شأنه أن يعزز «التأثير الارتدادي[1]» بمجرد توقف حقن البروجسترون.

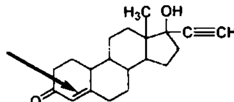
في عام 1952، بقيت في ولاية ماساتشوستس بعض قوانين تحديد النسل الأشد تقييدًا في الولايات المتحدة. لم يقتصر الأمر على تجريم استخدام وسائل منع الحمل قانونيًا فقط، بل وكذلك عرض وسائل منع الحمل وبيعها ووصفها وتقديمها وحتى المعلومات عن وسائل منع الحمل صُنِّفت على أنَّها جنايات. لم يلغَ هذا القانون حتى مارس في عام 1972. ونظرًا إلى هذه القيود القانونية، تعامل روك بحذر مقبول عندما كان يشرح علاجه بحقن البروجسترون لمرضاه. ونظرًا إلى أن الإجراء ما زال تجريبيًا، فإن الموافقة المستنيرة بوعيٍ ضرورية إلى أقصى حد. لذلك فُسِّر أمر تثبيط التبويض ولكن مع التأكيد على أنَّه أثر جانبي مؤقت للهدف الحقيقي المتمثل في زيادة الخصوبة.

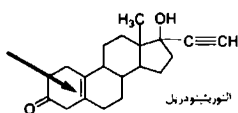
لم يشعر روك ولا بينكوس أن حقن جرعات كبيرة إلى حد ما من هرمون البروجسترون من شأنه أن يجعل وسيلة منع الحمل فعَّالة وممكنة على المدى الطويل. همَّ بينكوس بالاتصال بشركات الأدوية لمعرفة ما إذا كان أي من البروجسترونات الاصطناعية التي أعدت حتى هذه اللحظة لها فعالية أكثر عند تناول جرعات أصغر عن طريق

---

(1) ملحوظة المترجمة: أي ظهور الأعراض التي كان المريض يأمل في التخلص منها بتناول هذا الدواء، وذلك بسبب محاولة الجسم في استعادة توازنه من جديد.

الفم. وجاء الجواب: يوجد نوعان من البروجستينات الاصطناعية تستوفي هذه الشروط. حصلت شركة الأدوية جي دي سيرل ومقرها شيكاجو على براءة اختراع لجزيء مشابه تمامًا لذلك الذي صنَّعه جيراسي في شركة سينتيكس. يختلف نوريثينودريل الذي صنّعوه عن نوريثيندرون فقط في موضع الرابطة المزدوجة. من المفترض أن يكون الجزيء الفعال هو نوريثيندرون. ومن المفترض أن أحماض المعدة قلبت موضع الرابطة المزدوجة للنوريثينودريل إلى موضع الأيزومر البنيوي له، الصيغة البنائية نفسها لكن بترتيب مختلف النوريثيندرون.





يشير السهم إلى موضعي الرابطة المزدوجة، وهي الاختلاف الوحيد بين النوريثينودريل لدى شركة دي سيرل، ونوريثيندرون لدى شركة سينتيكس

منح براءة اختراع لكل مركب. لم تُتحرَ المساءلة القانونية حول ما إذا كان الجزيء الذي يغيره الجسم إلى آخر يشكل انتهاكًا لقانون براءات الاختراع.

جرب بينكوس كلا الجزيئين لتثبيط التبويض على الأرانب في مؤسسة ووستر. ظهر تأثير جانبي واحد فقط وهو عدم إنجاب أرانب صغيرة. شرع روك بعد ذلك في إجراء اختبار حذر لدواء نوريثينودريل، الذي يُطلق عليه الآن اسم إينوفيد، مع مرضاه. ظلَّ يُردد روايته عن أنَّه ما زال يستقصي ويبحث في مشكلات العقم وعدم انتظام الدورة الشهرية، لكن لم تكن رواية صادقة إلى حدٍ ما. ما

زال مرضاه يطلبون المساعدة لحل هذه المشكلة، أمَّا هو، مدفوعًا بكل نية وقصد، فيجري التجارب نفسها كما السَّابق، أي منع التبويض لبضعة أشهر لاستغلال الزيادة في الخصوبة التي يبدو أنها حدثت، على الأقل في بعض حالات النساء، بعد هذا العلاج. على الرغم من ذلك، استخدم البروجستينات الاصطناعية، التي تُعطى عن طريق الفم وبجرعات أقل من البروجسترون الاصطناعي. يبدو أن التأثير الارتدادي كما هو من دون اختلاف. أظهر الرصد الدقيق لمرضاه أن الإينوفيد فعّال بنسبة 100 في المئة في منع التبويض.

ما استدعت الحاجة إليه الآن هو التجارب الميدانية، التي أجريت في بورتوريكو. في الأعوام الأخيرة أدان المنتقدون «تجربة بورتوريكو» بسبب استغلالها المُقدر للنساء الفقيرات وغير المتعلمات وغير الواعيات بحقيقة الأمر. لكن بورتوريكو كانت متقدمة بفارق كبير على ماساتشوستس من حيث المعرفة التنويرية بتحديد النسل. على الرغم من أن أغلبية سكان بورتوريكو من الكاثوليكية، ففي عام 1937 -قبل خمسة وثلاثين عامًا من ولاية ماساتشوستس- عدلت قوانينها بحيث لم يعد توزيع لوازم تحديد النسل غير قانوني. أنشئت عيادات تنظيم الأسرة، المعروفة باسم عيادات «ما قبل الولادة»، كما دعم الأطباء في كلية الطب في بورتوريكو بالإضافة إلى مسؤولي الصحة العامة والممرضات فكرة الاختبار الميداني لوسائل منع الحمل عن طريق الفم.

خضعت النساء المختارات للدراسة للفحص بعناية وللرقابة بدقة طوال الوقت. ربما هن فقيرات وغير متعلمات، لكنهن أيضًا يتسمن بالنفعية والعملية. ربما لم تفهم هؤلاء النساء تعقيدات الدورة الهرمونية الأنثوية، لكنهن أدركن أخطار إنجاب المزيد من الأطفال. ففي حال أم تبلغ من العمر ستة وثلاثين عامًا ولديها ثلاثة عشر طفلًا، تعيش في كوخ من غرفتين في مزرعة الكفاف، فإن الآثار الجانبية المحتملة لحبوب منع الحمل تبدو أكثر أمانًا من الحمل غير المرغوب فيه. لم يُوجد نقص في عدد المتطوعين في بورتوريكو في عام 1956؛ ولن يوجد المزيد من الدراسات التي أجريت في هايتي ومكسيكو سيتي.

شاركت أكثر من ألفي امرأة في التجارب في هذه البلدان الثلاثة. ومن بينها، بلغ معدل الفشل في منع الحمل حوالي 1 في المئة، مقارنة بمعدل فشل بين وسائل منع الحمل الأخرى يتراوح بين 30 إلى 40 في المئة. كُللت التجارب السريرية لوسائل منع الحمل عن طريق الفم بالنجاح؛ وكان هذا المفهوم، الذي اقترحته امرأتان أكبر سنًا شهدتا الكثير من المشقة والبؤس بسبب الخصوبة غير المقيدة، قابلًا للتطبيق. من عجيب المفارقات أنه لو جرت هذه التجارب في ولاية ماساتشوستس، فإن مجرد إبلاغ الأشخاص الخاضعين للتجربة بالهدف من الاختبارات لصار غير قانوني.

في عام 1957، حصل عقار إينوفيد على موافقة مقيدة من إدارة الغذاء والدواء بوصفه علاجًا لعدم انتظام الدورة الشهرية. ما زالت حينها قوى التقاليد والسلطة هي السائدة. وعلى الرغم من أن خصائص حبوب منع الحمل معروفة بصورة يقينية، فكان يُعتقد

أنه من غير المرجح أن تتناول النساء حبوب منع الحمل يوميًّا كما أن التكلفة المرتفعة نسبيًّا (حوالي عشرة دولارات شهريًا) ستحول دون تحقيق الأمر. ومع ذلك، بعد مرور عامين على موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية، تناولت نصف مليون امرأة الإينوفيد لعلاج «اضطرابات الدورة الشهرية».

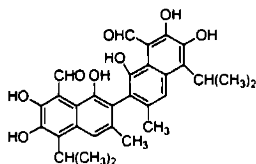
تقدمت شركة جي دي سيريل أخيرًا بطلب للموافقة على استخدام الإينوفيد كوسيلة لمنع الحمل عن طريق الفم، وحصلت عليه رسميًا في مايو 1960. وبحلول عام 1965، كان ما يقرب من أربعة ملايين امرأة أمريكية «يتناولن حبوب منع الحمل»، وبعد عشرين عامًا، قُدر أن ما يصل إلى ثمانين مليون امرأة في جميع أنحاء العالم يستفدن من هذا الجزيء الذي أصبح واقعًا بفضل تجارب ماركر مع البطاطا اليام المكسيكية.

وسرعان ما خُفضت جرعة العشرة ملليجرامًا المستخدمة في أثناء التجارب الميدانية (نقطة أخرى من الانتقادات الحالية للاختبارات البورتوريكية) إلى خمسة ملليجرامات، ثم إلى ملليجرامين، ثم أقل من ذلك. عُثر على وسيلة لاتحاد البروجستين الاصطناعي بنسبة صغيرة من هرمون الإستروجين لتقليل الآثار الجانبية (زيادة الوزن، والغثيان، والنزيف، وتقلب المزاج). بحلول عام 1965، كان لجزيء شركة سينتكس، نوريثيندرون، من خلال رخصتيه في شركتي بارك ديفيس وأورثو، وهما قسم من شركة جونسون آند جونسون، الحصة الكبرى من سوق وسائل منع الحمل.

لماذا لم تُعد حبوب منع الحمل للرجال؟ لعبت كل من مارجريت سانجر -التي توفيت والدتها بسبب الإنهاك في سن الخمسين بعد أن أنجبت أحد عشر طفلاً وعدد من حالات الإجهاض- وكاثرين ماكورميك أدوارًا حاسمة في تصنيع حبوب منع الحمل. كلتاهما تعتقد أن المرأة يجب أن يكون لها السيطرة على وسائل منع الحمل. أمَّا محاولاتهما لدعم البحث عن حبوب منع الحمل للرجال، فهذا موضع شكٍ. إذا كان الرواد الأوائل لوسائل منع الحمل عن طريق الفم قد صنعوا جزيئًا ليتناوله الرجال، فهل لساد انتقاد الآن يقول إن «الكيميائيين الذكور أعدوا طريقة تسمح للرجال بالتحكم في وسائل منع الحمل»؟ على الأرجح.

تكمن صعوبة منع الحمل عن طريق الفم للرجال في علم الأحياء. يحاكي نوريثيندرون (والبروجستينات الاصطناعية الأخرى) فقط ما يطلبه البروجسترون الطبيعي من الجسم، أي إيقاف التبويض. الرجال ليس لديهم دورة هرمونية. منع الإنتاج اليومي لملايين الحيوانات المنوية مؤقتًا أصعب بكثير من منع نمو بويضة واحدة في الشهر.

ومع ذلك، لا تزال تُدرس عدد من الجزيئات المختلفة بحثًا عن حبوب منع الحمل محتملة للرجال، استجابةً للحاجة الملحوظة إلى تقاسم مسؤولية منع الحمل على نحوٍ أكثر مساواة بين الجنسين. من الأساليب غير الهرمونية جزيء الجوسيبول، وهو مادة البوليفينول السامة المستخرجة من زيت بذرة القطن التي ذكرناها في الفصل السابع.



الجوسيبول

في سبعينيات القرن العشرين، أظهرت الاختبارات التي أجريت في الصين أن الجوسيبول فعال في قمع إنتاج الحيوانات المنوية، ولكن توجد مشكلات وهي عدم التأكد من إمكانية عكس العملية واستنفاد مستويات البوتاسيوم التي تؤدي إلى عدم انتظام ضربات القلب. أشارت الاختبارات الحديثة في كل من الصين والبرازيل، باستخدام جرعات أقل من الجوسيبول (10 إلى 12.5 ملليجرامًا يوميًا)، إلى أنه يمكن السيطرة على هذه الآثار الجانبية. ومن المقرر إجراء اختبار أوسع لهذا الجزيء.

مهما حدث في المستقبل من وجود وسائل جديدة وأفضل لتحديد النسل، يبدو من غير المرجح أن يتمكن جزيء آخر من وسائل منع الحمل من تغيير المجتمع بالقدر نفسه الذي تفعله حبوب منع الحمل. لم يحظ هذا الجزيء بقبول عالمي؛ لا تزال قضايا الأخلاق والقيم العائلية والمشكلات الصحية المحتملة والآثار طويلة المدى وغيرها من الاهتمامات المرتبطة موضع نقاش. لكن ما من شكٍ في أن التغيير الكبير الذي أحدثته حبوب منع الحمل –أي سيطرة المرأة على خصوبتها– أدى إلى ثورة اجتماعية. في الأربعين سنة الماضية، في البلدان التي أصبح فيها النوريثيندرون والجزيئات المماثلة متاحة على

نطاق واسع، انخفض معدلات الولادة، وحظيت النساء بمزيد من التعليم ودخلن سوق العمل بأعداد غير مسبوقة: في السياسة، وفي الأعمال التجارية، وفي التجارة، لم يعد دور النساء في الميدان استثناء.

نوريثيندرون أكثر من مجرد دواء للتحكم في الخصوبة. إدخاله إلى العالم هو بداية وعي، ليس فقط بالخصوبة ومنع الحمل، بل أيضًا بالانفتاح والفرص، مما سمح للنساء بالتحدث علنًا (والقيام بشيء بشأن) موضوعات كانت من المحرمات لعدة قرون؛ سرطان الثدي، والعنف الأسري، وسفاح الأقارب. تغيرت الأوضاع خلال أربعين عامًا فقط بصورة مذهلة. ومع توافر خيار إنجاب الأطفال وتربية الأسر، أصبحت النساء الآن يحكمن البلدان، ويطرن بالطائرات المقاتلة، ويجرين عمليات جراحية للقلب، ويشاركن في سباقات الماراثون، ويصبحن رائدات فضاء، ويدرن شركات، ويبحرن حول العالم.

الفصل الثاني عشر

جزيئات السّحر

على مدار الزمن منذ منتصف القرن الرابع عشر حتى أواخر القرن الثامن عشر، أسهمت مجموعة من الجزيئات في هلاك مئات الآلاف من البشر. لا يمكن أبدًا أن نعرف على وجه التحديد عدد الأشخاص، في كل بلد تقريبًا في أوروبا خلال هذه القرون، الذين حُرقوا على الأوتاد، أو شنقوا، أو عُذبوا بصفتهم سحرة وساحرات. تتراوح التقديرات من أربعين ألفًا إلى ملايين. في حين أنَّ المُتهمين بالسِّحر كانوا من الرجال والنساء والأطفال والأرستقراطيين والفلاحين ورجال الدين، فإن أصابع الاتهام غالبًا ما أشارت إلى النساء، النساء الفقيرات والمسنات على وجه التحديد. تتابع طرح الأسباب التي تجعل من النساء الضحايا الرئيسات لموجات الهستيريا والوهم التي هددت مجتمعات بأكملها لمئات السنين. نتوقع أن بعض الجزيئات، رغم أنها لم تكن مسؤولة مسئولية كاملة عن قرون من الاضطهاد، لعبت دورًا جوهريًّا وحقيقيًّا في هذا التمييز.

لطالما ظلَّ الإيمان بالسِّحر والشعوذة جزءًا من المجتمع البشري، راسخًا منذ وقت طويل قبل البدء في مطاردة الساحرات في نهاية العصور الوسطى. على ما يبدو أنَّه نُظر بعين التبجيل إلى منحوتات العصر الحجري للشخصيات النسائية بسبب قدراتهن السِّحرية على

الخصوبة. تكثر أساطير كل الحضارات القديمة حول كل ما هو وراء الطَّبيعة: آلهة تتخذ هيئات حيوانية، ووحوش، وإلهات يلقين تعاويذ، وسحرة، وخيالات، وعفاريت، وأشباح، ومخلوقات مخيفة نصفها حيوان ونصفها إنسان، وكائنات روحية، وآلهة عاشوا في السماء، وفي الغابات، وفي البحيرات، وفي المحيطات، وتحت الأرض. ولم تكن أوروبا في عصر ما قبل المسيحية، العالم المليء بالسحر والخرافات، استثناءً.

مع انتشار المسيحية في جميع أنحاء أوروبا، دُمِجَت الكثير من الرموز والمهرجانات الوثنية القديمة في طقوس الكنيسة واحتفالاتها. لا نزال نحتفل بعيد الهالوين، وهو العيد العظيم للموتى في حضارة سيلتك[1]، يمثل بداية فصل الشتاء في 31 أكتوبر، عدا أن الاحتفال بالهالوين في الأول من نوفمبر، عيد جميع القديسين، ما هو إلَّا محاولة من الكنيسة لصرف الانتباه عن الاحتفالات الوثنية. أمَّا ليلة عيد الميلاد في الأصل فهي ليلة عيد الإله الروماني ساترون. وكذلك أشجار عيد الميلاد والكثير من الرموز الأخرى (نبات الهولي للزينة، واللبلاب، والشموع) التي نربطها الآن بعيد الميلاد، هي وثنية الأصل.

الكدح والمتاعب

قبل عام 1350، ممارسة السحر كانت مكافئة لممارسة الشعوذة، وهي طريقة لمحاولة السيطرة على الطبيعة لتحقيق المصالح الشخصية. استُعملت أعمال السِّحر إيمانًا بقدرتها على حماية المحاصيل أو الأشخاص، كما شاع إلقاء التعاويذ بغرض التأثير في الأرواح أو

---

(1) ملحوظة المترجمة: يُعرف بعيد السمحين.

تحضيرهم أو استدعائهم. ظلَّت الشعوذة، في معظم أنحاء أوروبا، مقبولة بصفتها جزءًا من الحياة، ولم يُنظر إلى السحر على أنه جريمة إلَّا إذا تسبب في إلحاق ضررٍ. يمكن لضحايا *المالفيسيوم* أو فعل الشر باستخدام السحر والتنجيم، طلب اللجوء القانوني للحماية من الساحرة، ولكن إذا لم يتمكنوا من إثبات قضيتهم، يصبحون هم أنفسهم عرضة لعقوبة المحاكمة ويدفعون تكاليفها. بهذه الطريقة أُفشلت الاتهامات التي تخلو من الصدق. ونادرًا ما وقع إعدام للسحرة. لم يكن السحر دينًا منظمًا ولا معارضة منظمة ضد الدين. بل لم يكن منظمة. إنما مجرد جزء من الفولكلور.

لكن في منتصف القرن الرابع عشر تقريبًا ظهر موقف جديد تجاه السحر. لم تُعارض المسيحية السّحر حينها، شريطة أن تقبله الكنيسة وتمنحه إذنًا، أمَّا داخل الكنيسة فيُنظر إليه على أنَّه مُعجزات. أمَّا السحر الذي يقع خارج الكنيسة فيُرى أنَّه من عمل الشيطان. دخل السَّحرة في حلفٍ مع القوى الشَّيطانية. يعود تاريخ تأسيس محاكم التفتيش، وهي محكمة تابعة للكنيسة الكاثوليكية الرومانية إلى عام 1233 تقريبًا، هدفت إلى مواجهة الهرطقة -وبخاصة في جنوب فرنسا- وسعت نطاق صلاحياتها ومهامها لمساءلة أعمال السحر. اقترحت بعض السلطات أنَّه ما إن قُضيَ قضاءً فعليًّا على الهرطقة، فإن محاكم التفتيش، سعيًّا وحاجةً إلى وجود ضحايا جُدد، وجهّت أنظارها إلى أعمال الشعوذة. بلغ عدد السَّحرة تقديريًّا في أوروبا عددًا كبيرًا؛ وكان مصدر الدخل المتوقع للمحققين، الذين تقاسموا مع السلطات المحلية الممتلكات والأصول المصادرة للمدانين، كبيرًا

أيضًا. سرعان ما أُدين السحرة ليس لارتكابهم أعمالًا شريرة، بل بسبب فرضية عقدهم اتفاقًا مع القوى الشيطانية.

صُنِّفت الجريمة جريمةً مُروِّعة جاوزت حدّ البشاعة مما أدى إلى، بحلول منتصف القرن الخامس عشر، عدم تطبيق القوانين العادية على محاكمة السحرة. كفى الاتهام وحده ليكون دليلًا. لم يقتصر الأمر على التعذيب فحسب، بل إن التعذيب صار عملًا روتينيًا؛ الاعتراف من دون ملاقاة التعذيب لا يُعوَّل عليه، وهي نظرةٌ تشوبها الغرابة في عين الحاضر اليوم.

على الرَّغم من أنَّ الأعمال المنسوبة إلى السَّحرة، طقوس العربدة وممارسة الجنس مع الأبالسة، والطيران على عصي السحرة، وقتل الأطفال وأكل الرُّضع، في مُجملها تتجاوز المنطق والعقل، فإنها ظلَّت فكرة يُعقد عليها إيمان النَّاس بعاطفة مشبوبة. وصل عدد النِّساء المتهمين بالسِّحر إلى ٩٠٪، وعلى الأرجح أنَّ من اتهمهم بذلك كان عددًا مساويًا من الرِّجال والنساء. يُزعم أنَّ الحملة المعروفة بمطاردة السَّاحرات التي كشفت عن ملامح الارتياب والضلالات غرضها استهداف النّساء والجنس الأنثوي، عدا أنَّ ذلك لا يزال محل جدل. أينما حلت كارثة طبيعية -فيضان، أو جفاف، أو فقدان المحاصيل الزراعية وتلفها- فإن الشهود ستتزايد ليوجهِّوا الاتهام إلى أي امرأة فقيرة، أو على الأرجح النساء عمومًا، وأنّهن شوهدن وهنّ يتجولن مع الشياطين في السَّابات (أي تجمع السحرة) أو يطرن حول الريف مع وجود جِني خادم (روح خبيثة تتمثل في هيئة حيوان، مثل قطة) إلى جانبهن.

أصاب هذا الهوس البلدان الكاثوليكية والبروتستانتية وأثَّر فيها على حدٍّ سواء. في ذروة موجة الضلالات والارتياب المصاحبة لحملة مطاردة الساحرات، منذ عام 1500 إلى عام 1650 تقريبًا، لم توجد أي نساء تقريبًا على قيد الحياة في بعض القرى السويسرية. تعرَّض سُكان بعض القرى الصغيرة بأكملها في ولايات ألمانيا إلى الحرق على الأوتاد. لكن في إنجلترا وهولندا لم يُعهد أي ترسيخ أو تأصيل لأفعال الهوس بمطاردة السحرة كما هو الحال في أجزاء أخرى من أوروبا. لم يُشرَّع التعذيب بموجب القانون الإنجليزي، على الرغم من أن السحرة المشتبه فيهم كانوا يخضعون لاختبار المياه. يُقيدون ويُلقون في بركة ماء، أمَّا الساحرة الحقيقية فتطفو على السطح، لتُنتشل بعد ذلك وعلى الأرجح تُعاقب؛ بالقتل شنقًا. إذا نزلت المتهمة إلى الأعماق وماتت غرقًا، فإنها تُصبح بريئة من تُهمة ممارسة السِّحر ويُخلع عنها لقب السَّاحرة المزعوم، وهو بقدر ما يُمثل عزاءً للعائلة، لا يفيد الضحية نفسها.

لم يتلاشَ إرهاب مطاردة الساحرات إلَّا ببطء تدريجيّ. لكن بسبب توجيه الاتهام إلى هذا العدد الهائل من الأشخاص، واجهت حالة الرَّخاء الاقتصادي خطرًا مُهددًا. نظرًا إلى تراجع النظام الإقطاعي وبزوغ فجر عصر التنوير، ونظرًا إلى ارتفاع أصوات الرجال والنساء الشجعان الذين خاطروا بأنفسهم إلى حدٍّ ربما أودى بحياتهم شنقًا أو حرقًا على الأوتاد من أجل معارضة هذا الجنون، تراجع تدريجيًّا الهوس الذي اجتاح أوروبا لقرون من الزمن. آخر عملية لإعدام ساحرة، في هولندا، نُفِذَّت في عام 1610 وفي إنجلترا في عام 1685.

استندت إدانة آخر الساحرات اللاتي أُعدمن في الدول الإسكندنافية -خمس وثمانون امرأة مسنة حُرقن على الأوتاد في عام 1699- فقط إلى أساس أقوال الأطفال الصغار الذين ادعو أنهم طاروا مع النساء إلى تجمعات السابات.



لوحة بنمط دلفي من هولندا (الجزء الأول من القرن الثامن عشر) تظهر محاكمة ساحرة. المتهمة على اليمين، تظهر ساقاها فقط فوق الماء، تغرق وسيُعلن براءتها. يمكن رؤية يد الشيطان وهي تدعم المرأة المتهمة وهي تطفو إلى اليسار، وهي -ثبتت إدانتها الآن- تُسحب من الماء لحرقها حية على الوتد. (حُصل على الصورة بإذن من مجموعة هورفاث، فانكوفر)

توقفت، بحلول القرن الثامن عشر، عمليات الإعدام لجرائم السحر رسميًّا: في أسكوتلندا في عام 1727، وفرنسا في عام 1745، وألمانيا في عام 1775، وسويسرا في عام 1782، وبولندا في عام 1793. لكن على الرغم من توقف الكنيسة والدولة عن إعدام السَّحرة، فإن محكمة الرأي العام بدت أقل استعدادًا لتنحية مشاعر الخوف والبغض تجاه السّحر بعدما تشربوه عبر قرون من الاضطهاد. في المجتمعات الريفية النائية، ما زالت المعتقدات القديمة سائدة، وواجه عدد كبير من السَّحرة مصيرًا سيئًا مشئومًا، وإن كان غير رسميّ.

كثير من النساء المتهمات بممارسة السِّحر بالأعشاب، ماهرات في استخدام النباتات المحلية لعلاج الأمراض وتخفيف الألم. في كثير من الأحيان يمكن اللجوء إليهن أيضًا طلبًا للحصول على جرعات الحب، وإلقاء التعويذات، وفكّ السحر. لأنَّ بعض هذه الأعشاب لها آثار علاجية حقيقية، فبدت سحريّة مثل التعاويذ والطقوس التي كانت ضِمن المراسم التي أدوها.

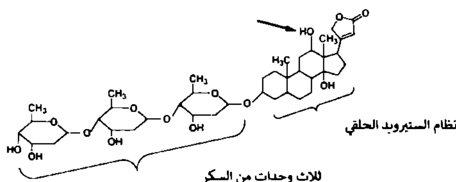
كان استخدام الأدوية العشبية ووصفها في ذلك الوقت -كما هو الآن- عملًا محفوفًا بالأخطار. تحتوي الأجزاء المختلفة من النبات على مستويات مختلفة من المركبات الفعالة؛ يمكن أن تختلف النباتات المجمعة من أماكن مختلفة في قدرتها على العلاج؛ وتجميعها في أوقات مختلفة من السنة يمكن أن تغير كمية النبات اللازمة لإنتاج جرعة مناسبة. قد يكون كثير من النباتات الموجودة في الإكسير ذات فائدة قليلة، في حين قد تحتوي نباتات أخرى على أدوية ربما فعاليتها أقوى ولكنها سامة أيضًا. يمكن للجزيئات الموجودة في هذه النباتات أن

تعزز سمعة المعالجات بالأعشاب فيُنظر إليهن على أنَّهن ساحرات، لكن نجاح هذه الجزيئات قد يكون في النهاية مميتًا لهؤلاء النساء. تميزت المعالجات بالأعشاب أولئك بمهاراتهن العلاجية الأعظم، ربُما هن أول من ألحق بهن وصف السَّاحرات.

الأعشاب العلاجية، الأعشاب الضارة

عُرِف حمض الساليسيليك، المستخرج من شجرة الصفصاف ونبات إكليلية المروج الشائع في جميع أنحاء أوروبا، قبل قرون من بدء شركة باير وشركاه في تسويق الأسبرين في عام 1899 (انظر الفصل العاشر). وُصف جذر نبات الكرفس البري لمنع تشنجات العضلات، كما اعتُقد أن البقدونس يحفز الإجهاض، واستُخدم نبات اللبلاب لتخفيف أعراض الربو. يحتوي الديجيتال، وهو مستخلص من نبات قفاز الثعلب *ديجيتاليس بوربوريا* المعروف، على جزيئات عُرِف أنَّها منذ زمن طويل لها تأثير قويّ في القلب، وهي *الجليكوزيدات القلبية*. تعمل هذه الجزيئات على تقليل معدل ضربات القلب، وتنظيم إيقاعه، وتقوية خفقاته، وهي مزيج فعال بين أيدي عديمة الخبرة. (وهي أيضًا صابونينات، تشبه إلى حد كبير تلك الموجودة في نباتات السارساباريلا والبطاطا اليام المكسيكية البرية التي منها صُنعت حبوب منع الحمل النوريثيندرون؛ انظر الفصل الحادي عشر). من الأمثلة على الجليكوزيدات القلبية جزيء الديجوكسين، وهو أحد أكثر الجزيئات شيوعًا ويُقرر في الوصفات الطبيّة، وكذلك هو مثال جيِّد على المستحضرات الصيدلانية التي تستند في أساسها إلى الطِّب الشعبي.

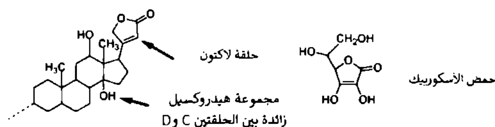
في عام 1795، استخدم طبيب بريطاني يُدعى ويليام ويذرنج مقتطفات من نبات قفاز الثعلب لعلاج قصور القلب الاحتقاني بعد تنامي شائعات عن القدرات العلاجية للنبات. ولكن مر أكثر من قرن من الزمان قبل أن يتمكن الكيميائيون من عزل الجزيئات المسؤولة عن ذلك.



الصيغة البنائية لجزيء الديجيتوكسين. تختلف وحدات السكر الثلاثة عن تلك الوحدات الموجودة في نبات السارسابيلا أو نبات اليم المكسيكية. يفتقر الديجيتوكسين إلى مجموعة الهيدروكسيل كما هو موضح بالسهم على نظام الستيرويد الحلقي.

يوجد في مستخلص الديجيتال جزيئات أخرى مشابهة تمامًا للديجوكسين؛ على سبيل المثال، جزيء الديجيتوكسين، الذي يفتقر في بنيته فقط إلى مجموعة الهيدروكسيل (OH)، كما هو موضح في رسم الصيغة البنائية. توجد جزيئات مماثلة من جليكوسيدات المُعالجة للقلب في نباتات أخرى، عادة ما تكون في فصيلتي الزنبق والحوذان، لكن قفاز الثعلب لا يزال المصدر الرئيس للعقار اليوم. لم يجد المعالجون بالأعشاب صعوبة كبيرة في العثور على نباتات منشطة للقلب في حدائقهم الخاصة وفي المروج الموجودة في بيئتهم المحليّة. استخدم قدماء المصريين والرومان مستخلصًا من بصل البحر، وهو نبات في عائلة الصفير، منشطًا للقلب و(بجرعات أكبر) سمًّا للفئران. نعلم الآن أن بصل البحر هذا يحتوي أيضًا على جزيء جليكوسيد مختلف مُعالج للقلب.

تتمتع جميع هذه الجزيئات بالمزية البنائية ذاتها، وهي تلك المزية التي يُحتمل أن تكون المسئولة عن إحداث مثل هذا التأثير المُعالج في القلب. جميعها يحتوي على حلقة لاكتون خماسية ذرات الكربون متصلة بنهاية نظام الستيرويد ومجموعة هيدروكسيل (OH) إضافية بين الحلقتين C وD لنظام الستيرويد، كما هو موضح هنا:

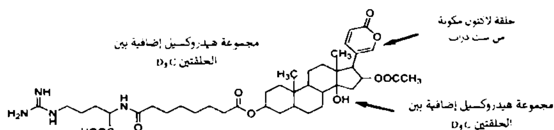


الجزء غير السكري من جزيء الديجوكسين مع OH الزائدة المؤثر في القلب مع حلقة اللاكتون. عثر على حلقة اللاكتون هذه أيضًا في جزيء حمض الأسكوربيك (فيتامين ج).

لا توجد الجزيئات التي تؤثر في القلب في النباتات فقط. بل عُثِرَ على مركبات سامة تشبه في تركيبها الجليكوسيدات المُعالجة للقلب في الحيوانات. لا تحتوي هذه الجزيئات على سكريات، ولا تستخدم كمنشطات للقلب. بل هي سموم تُسبب نوبات تشنجيّة وقيمتها في ميزان الطِّب قليل. مصدر هذه السموم هو البرمائيات؛ استُخدمت عينات مُستخرجة من الضفادع والعلاجيم[1] بصفتها سموم سهام في أجزاء كثيرة من العالم. ومن المثير للاهتمام أن العلجوم هو، بعد القطة، الحيوان الأكثر شيوعًا المعروف في الفلكور والحكي الشعبي على أَنّه الجنيّ الخادم للساحرات. وقيل إن الكثير من الجرعات التي

(1) ملحوظة المترجمة: العلجوم هو نوع من الضَّفادع لها غدد سُمِّية، يُمكنها أن تعيش في الأماكن الرطبة، على عكس الضفادع العاديّة التي لا تستطيع أن تغادر جوار المياه.

أعدها السحرة المزعومون تحتوي على أجزاء من العلاجيم. جزيء البوفوتوكسين هو العنصر النشط في سم العلجوم الأوروبي الشائع، *بوفو فولجاريس*[1]، وهو أحد أكثر الجزيئات المعروفة سمية. يظهر بناؤه تشابهًا مذهلًا في نظام حلقة الستيرويد مع جزيء الديجيتوكسين، مع وجود مجموعة هيدروكسيل (OH) إضافية كذلك بين الحلقتين C وD وحلقة اللاكتون المكونة من ست ذرات، بدلًا من خمس ذرات.



يشبه البوفوتوكسين الموجود في العلجوم الشائع من الناحية البنائية الديجيتوكسين الموجود في قفاز الثعلب حول الجزء الستيرويدي من الجزيء.

على الرغم من ذلك التشابه، فإن البوفوتوكسين ليس مُعالجًا للقلب بل سُمًا له. من بين الجليكوسيدات المعالجة للقلب الموجودة في قفاز الثعلب وسموم الضفدع، تمكنت مَنْ عُرفنَ بالسَّاحرات من الوصول إلى ترسانة قوية من المركبات السامة.

بالإضافة إلى إعجابهن وميلهن الشديدين إلى العلاجيم، روت إحدى الأساطير الأكثر رسوخًا وثباتًا عن السَّاحرات أنَّهن تمتعن بقدرة على الطيران، غالبًا على عصي المكنسة، لحضور السابات، لقاء منتصف الليل، الذي يُفترض أنه محاكاة ساخرة لطقوس القداس المسيحي. واعترف عدد كبير من السحرة المتهمين، تحت وطأة التعذيب، بالسفر إلى مثل هذه السباتات. وهذا ليس مفاجئًا، فعلى الأرجح لأقدمنا على التصريح باعتراف كهذا إذا تعرضنا لتلك الآلام المروعة التي

(1) ملحوظة المترجمة: اسم الضفدع الشائع، وهو باللاتينية (Bufo vulgaris)

أصابتهم في أثناء تقصي الحقيقة والبحث عنها. والمثير للدهشة هو أن عددًا من السحرة المتهمين اعترفوا، *قبل* التعذيب، بالإنجاز المستحيل وهو في هذه الحالة الطيران إلى لقاء السابات على عصا المكنسة. وبما أن مثل هذا الاعتراف لم يكن من المرجح أن يساعد هؤلاء الضحايا على الهروب من التعذيب، فمن المحتمل أن هؤلاء النساء اعتقدن حقًا أنهن صعدن المدخنة على عصا المكنسة وانغمسن في جميع أنواع الانحرافات الجنسية. لعل لاعتقادهن هذا أساس كيميائي مُناسب إلى حدٍ ما، وهو مجموعة من المركبات المعروفة باسم القلويدات.

القلويدات مركبات نباتية تحتوي على ذرة نيتروجين واحدة أو أكثر، عادة هي جزء من حلقة من ذرات الكربون. سبق أن التقينا فعليًّا عددًا قليلًا من الجزيئات القلويدية، البيبيرين في الفلفل، والكابسيسين في الفلفل الحار، والنيلي، والبنسلين، وحمض الفوليك. ويمكن القول بأن القلويدات، بالإشارة إليها مجموعة، كان لها تأثير في مسار التاريخ البشري أكبر من أي عائلة أخرى من المواد الكيميائية. غالبًا ما تكون القلويدات نشطة من الناحية الفسيولوجية عند البشر، وعادةً ما تؤثر في الجهاز العصبي المركزي، وهي شديدة السمية بصورة عام. استُخدم بعض هذه المركبات الموجودة بصورة طبيعية على أنها عقاقير منذ آلاف السنين. تشكل المشتقات المصنوعة من القلويدات الأساس لعدد من مستحضراتنا الصيدلانية الحديثة، مثل جزيء الكودين المسكن للألم، والبنزوكائين المخدر الموضعي، والكلوروكين، وهو عامل مضاد للملاريا.

سبق أن ذكرنا في موضع آخر الدور الذي تقوم به المواد الكيميائية في حماية النباتات. لا تستطيع النباتات الهروب من الخطر ولا يمكنها

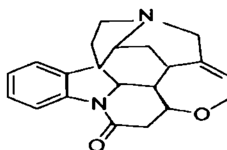
الاختباء عند أول علامة تحذيرية على وجود حيوان مفترس؛ وسائل الحماية المادية مثل الأشواك لا تمنع دائمًا الرعاة العازمين على المضي في طريقهم. المواد الكيميائية هي طريقة سلبية لكنها فعَّالة فعالية كبيرة في توفير الحماية من الحيوانات وكذلك الفطريات والبكتيريا والفيروسات. أمَّا القلويدات فهي مبيدات طبيعية للفطريات والحشرات والآفات. تشير التقديرات إلى أن كل واحد منا يستهلك في المتوسط حوالي جرام ونصف من المبيدات الحشرية الطبيعية يوميًا، من النباتات والمنتجات النباتية في نظامنا الغذائي. ويبلغ تقدير بقايا المبيدات الاصطناعية حوالي 0.15 ملليجرامًا يوميًا، أي أقل بحوالي عشرة آلاف مرة من الجرعة الطبيعية!

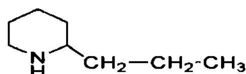
عند تناول كميات صغيرة، غالبًا ما تتلقى أجساد البشر هذه التأثيرات الفسيولوجية للقلويدات بترحاب. استُعمل الكثير من هذه القلويدات في مجال الطب لعدة قرون. جزيء الأكركيدين، وهو قلويد موجود في جوز التنبول من نخيل التنبول، *أريكا كاتيشو*، يمتد تاريخ استخدامه في إفريقيا والشرق على أنَّه منشط لتاريخ طويل. يُلَّف جوز التنبول المسحوق في أوراق نخيل التنبول ثم يُمضغ. يسهل تمييز أولئك الذين يتناولون مسحوق التنبول من خلال أسنانهم المميزة ذات اللون الداكن ومن خلال عادتهم في بصق كميات وفيرة من اللعاب الأحمر الداكن. استُخدم جزيء الإيفيدرين، الذي يُستخرج من نبات *الإيفيدرا سينيكا*[1] أو نبات ما هوانج[2]، في

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلميّ للنبات: Ephedra sinica.
(2) ملحوظة المترجمة: تُعرف كذلك باسم عُشبة العلندة.

طب الأعشاب في الصين منذ آلاف السنين، ويستخدم الآن في الغرب مزيلًا للاحتقان وموسعًا للشعب الهوائية. يأتي تصنيف أعضاء عائلة فيتامين ب، مثل الثيامين (ب1)، والريبوفلافين (ب2)، والنياسين (ب4)، على أنهم قلويدات. يُعزل الريزيربين، الذي يستخدم في علاج ارتفاع ضغط الدم ويُستخدم مهدئًا، من نبات سناكيروت الهندي، راولفيا سيربنتينا[1].

يكفي عامل السُمية وحده لتبقى بعض القلويدات مشهورة وشائعة. أمَّا العنصر السام الموجود في نبات الشوكران، *كونيوم ماكولاتوم* المسؤول عن وفاة الفيلسوف سقراط في عام 399 قبل الميلاد، فهو الكونيين القلويدي. حُكم على سقراط، عندما أُدين بعدم التدين وإفساد شباب أثينا، بالإعدام عن طريق شرب جرعة مصنوعة من الثمار والبذور الموجودة في الشوكران. يحتوي الكونيين على واحدة من أبسط البنيات بين جميع القلويدات، لكنه يمكن أن يكون سمًا فتاكًا تمامًا مثل البنيات القلويدية الأكثر تعقيدًا مثل الإستركنين، الذي يُستخرج من بذور الشجرة الآسيوية *استركنوس نوكس فوميكا*[2].





(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي باللاتينية Rauwolfia serpentina.

(2) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي Strychnos nux-vomica.

عند صُنع «مراهم الطيران» -مواد زينية ومراهم اعتُقد أنها تُعزز مهارة الطيران- شاع بين السحرة إضافة مستخرجات من نبات اللفاح[1] والبيلادونا والهينبان. تنتمي جميع هذه النباتات إلى عائلة *سولانيسياي* أي عائلة الباذنجانيات. تنمو نبتة اللفاح، *ماندراجورا أوفيسيناروم* بجذورها المتفرعة التي يقال إنها تشبه هيئة جسد الإنسان، في موطنها الأصلي في منطقة البحر الأبيض المتوسط. عُرِف استخدامه منذ العصور القديمة بصفته وسيلة لاستعادة الحيوية الجنسية ومنومًا. يُحيط بنبات اللفاح عدد من الأساطير المثيرة للفضول. قِيل إنه عندما يُقتلع من الأرض، يصدر صرخات مدوية. كل من كان في المنطقة المجاورة ظلَّ في خطر بسبب انتشار الرائحة عنه وبسبب تلك الصرخة الغامضة التي لا تُشبه صرخات سُكّان الأرض. يتضح أنَّ مثل هذه السِمة كانت معروفة ومن أدلة ذلك ما جاء في مسرحية شكسبير *روميو وجولييت*، حيث تقول جولييت: «... مع هذه الرَّوائح المقيتة التي تعافها النَّفس، وصرخات الحارقة كتلك التي تصدر عن اللفاح الذي يُنتزع من طينته من الأرض، / لا يسع الأحياء أبناء الفناء، عندما يسمعونها، إلَّا أن يدركهم الجنون.» ترددت شائعات عن أن نبات اللفاح ينمو تحت المشانق، وينبض بالحياة كما النبات في الرَّبيع من المني الذي يُخرجه الرِّجال المدانين المشنوقين هناك.

---

(1) ملحوظة المترجمة: تُعرف كذلك باسم تفاح الجن وتفاح المجانين أو نبات الشجيع أو اليبروح أو نبات بيض الجن.

أما النبات الثاني المستخدم في مراهم الطيران فهو البيلادونا أو الباذنجانيات القاتلة (*أتروبا البيلادونا*). يأتي الاسم من نشاط ما، شاعت ممارسته بين النساء في إيطاليا، وهو إسقاط عصارة التوت الأسود لهذا النبات في عيونهن. وفقًا للاعتقاد القديم، فإن اتساع حدقة العين بعد وضع هذه العُصارة يُزيد من جمالهن؛ ومن هنا جاء اسم «*بيلادونا*» الذي يعني «السيدة الجميلة[1]» بالإيطالية. عند تناول كميات أكبر من نبتة الباذنجيّات المميتة ومرورها داخل الجسم يؤدي في النهاية إلى الدخول في حالة سبات أشبه بسبات الموت. على الأرجح هذه النبتة هي تلك النبتة الشائعة المحتملة التي شربتها جولييت. كتب شكسبير (في مسرحية روميو وجولييت) «سيسري في عروقك التوَّة/ شيء من برد ومِزَاج وَسْنان، فتحسين بنبضك فجأة قد توقف،» لكن في النهاية «في هذا النَّوم الذي استعار من الموت سباته فبدا كموت مُصغَّر/ سيستمر لاثنين وأربعين ساعة/ ثُمَّ تقومين من رقدوك وكأنَّك ما لبثتِ إلَّا ساعة من نومٍ هانئ».[2]

أمَّا العضو الأخير في عائلة الباذنجانيات، وهو الهينبان، فهو على الأرجح هيوسياموس النيجر، على الرغم من أنَّه من المحتمل أيضًا

---

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم اللاتيني Atropa belladonna. تُشير كلمة Atropa إلى طبيعة النبات القاتلة، وهي مشتقة من كلمة Atopos (أتروبوس)، وهي واحدة من الأقدار الثلاثة في الأساطير الإغريقية المسئولة عن قطع خيط الحياة فتنهي حياة الإنسان، أي إلهة الموت، وتعني الكلمة حرفيًّا: لا محالة، لا مفر منه إشارة إلى حتمية الموت الذي لا مفرَّ منه. أمَّا Belladonna فتنقسم إلى كلمتين Bella جميلة، وDonna امرأة، وتعني كما ورد في النَّص المرأة الجميلة، وفقًا لما توصلت إليه في البحث، فإن اسمها في المحتوى العربي ست الحُسن.

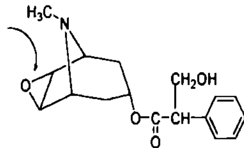
(2) ملحوظة المترجمة: مسرحية روميو وجولييت، الفصل الرابع، المشهد الأوَّل.

أنه استُخدمت أنواع أخرى في جرعات الساحرات. يمتد تاريخه الطويل الذي ظلَّ يُستخدم فيه مُنوِّمًا، ومُسكنًا للآلام (وبخاصة لألم الأسنان)، ومخدرًا، وربما استُعمل سُمًّا. يبدو أيضًا أن خصائص الهينبان شاعت وانتشرت قديمًا: أتت كلمات شكسبير مرة أخرى فقط تعكس المعرفة العامة التي سادت في عصره عندما أخبر شبح والده هاملت «انسلّ عمُّك،/ وبيده قارورة تحوي عصير الهيبونا[1] الملعون،/ وفي مدخليْ أذنيّ صبَّ/ قطرات من داء الجُذام.» تُفسر كلمة *هيبونا* على أنَّها إشارة إلى كل من أشجار الطقسوس والأبنوس وكذلك إلى نبات الهينبان، ولكن من وجهة نظر كيميائية نعتقد أن نبات الهينبان أكثر منطقية.

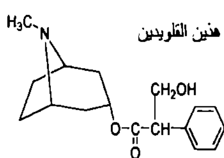
يحتوي كل من اللفاح، النبات الباذنجيّ القاتل، والهينبان على عدد من القلويدات المتشابهة إلى حدٍ كبير. ويوجد العنصران الرئيسان، الهيوسيامين والهيوسين، في النباتات الثلاثة بنسب متفاوتة. يُعرف أحد أشكال الهيوسيامين باسم الأتروبين ولا يزال يتمتع بقيمة ومكانة حتى اليوم، في المحاليل مخففة تخفيفًا كبيرًا، لتوسيع حدقة العين لإجراء فحوصات العيون. تؤدي التركيزات الكبيرة إلى ضبابية الرؤية وحالة من الهياج والاضطراب بل الهذيان. تظهر الأعراض الأولى عند التسمم بالأتروبين ومنها جفاف سوائل الجسم. يُستفاد من هذه الخاصية في إدراج الأتروبين في الوصفات الطبيّة، وذلك

(1) ملحوظة المترجمة: ورد في ترجمة هذه المسرحية كلمة "الجيكويام" ترجمةً لكلمة الهيبونا، لكننا لم نقف على سبب لذلك، والصواب وفق بحثنا من الجانب الكيميائي ما وصلنا إليه في الترجمة.

لأنَّ إفراز اللعاب أو المخاط الزائد قد يحيل دون تنفيذ العمليات الجراحية. اكتسب الهيوسين، المعروف أيضًا باسم سكوبولامين، سمعة غير مستحقة بوصفه مصل الحقيقة.



سكوبولامين (هيوسين)



أتروبين من هيوسيامين

يندمج السكوبولامين مع المورفين، فيُستخدم مُخدِّرًا يعرف باسم «نوم الشفق»،(1) لكن لا يزال الأمر غير واضح: هل يهذي الشخص هذيانًا يُشبه مناغاة الأطفال ويقول الحقيقة تحت تأثيره أم إنه مُجرد هذيان؟ ومع ذلك، فإن مؤلفي الروايات البوليسية أحبوا دائمًا فكرة مصل الحقيقة، ومن المحتمل أن يظل هذا الاسم متناقلًا فيها على هذا النحو. أمَّا السكوبولامين، مثل الأتروبين، فإنه يتميز بأنه مُثبِّط للإفراز وله خصائص مُبهجة باعثة على الدخول في حالة من الإيفوريا. إذا تُناول بكميّات صغيرة، يحارب دوار السَّفر. يستخدم رواد الفضاء الأمريكيون السكوبولامين علاجًا لدوار الحركة في الفضاء.

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم بالإنجليزيّة: Twilight Sleep، استُخدم لأوَّل مرة في عام 1906، وهو يُمثل بداية انتقال عملية الولادة من المنازل إلى المستشفيات. استُخدم في عمليات الولادة، حتى تصل النساء إلى حالة الاسترخاء وتفقد الإحساس بالألم، إلَّا أنه سبَّب له تبعات سيئة مثل فقدان الذاكرة للنساء وانخفاض كفاءة الجهاز العصبي للطفل.

على الرغم من أنَّ الأمر قد يصل إلى حد الغرابة، فإن مركب الأتروبين السام يقوم بدور ترياقي لمجموعات من المركبات الأكثر سمية. تعمل غازات الأعصاب مثل غاز السارين- ذلك الغاز الذي أطلقه الإرهابيون في مترو أنفاق طوكيو في أبريل في عام -1995 والمبيدات الحشرية الفوسفاتية العضوية، مثل الباراثيون، على منع الإزالة التي تحدث طبيعيًّا لجزيء الرسول الذي ينقل الإشارة عبر الموصِّل العصبي. عندما لا يُزال هذا الجزيء الرسول، تُحَفَّز النهايات العصبية تحفيزًا مستمرًّا، مما يؤدي إلى الإصابة بنوبات من التشنجات، وإذا تأثر القلب أو الرئتان، يؤدي إلى الموت. يمنع الأتروبين إنتاج جزيء الرسول هذا، لذا، بشرط إعطاء الجرعة الصحيحة، فهو علاج فعال للسارين أو الباراثيون.

ما هو معروف الآن عن القلويدين الأتروبين والسكوبولامين، وهو ما عُرِف أيضًا تمام المعرفة في أذهان السحرة في أوروبا، هو أن أيًا منهما غير قابل للذوبان ولا سيِّما في الماء. كما أنهم سيدركون أن ابتلاع هذه المركبات قد يؤدي إلى الموت بدلًا من أحاسيس الإيفوريا المُسْكِرة التي كانوا يريدونها. وبذلك تجري عملية إذابة مستخلص اللفاح والبيلادونا والهينبان إلى دهون أو زيوت، وتوضع هذه الشحوم على الجلد. الامتصاص عن طريق الجلد -أي التوصيل عبر أَدَمَة الجلد- هو طريقة قياسية للحصول على فائدة من أي أدوية معينة وتمريرها داخل الجسد في يومنا هذا. لذلك فإن لاصقة النيكوتين لأولئك الذين يحاولون الإقلاع عن التدخين وبعض علاجات دوار السفر والعلاجات البديلة الهرمونية تسلك هذا المسار.

كما يرد في الحكايات المروية عن مراهم الساحرات للطيران، فإن هذه التقنية كانت معروفة منذ مئات السنين أيضًا. يرد إلى علمنا اليوم أنَّ عملية الامتصاص تتحقق بكفاءة لو أنَّ الجلد أكثر نحافة والأوعية الدموية تقع تحت السطح مباشرةً؛ ولذلك تُستخدم التحاميل الخاصة بالمهبل والمستقيم بهذه الطريقة لضمان سرعة امتصاص الأدوية. لا بد أن السحرة كانوا على علم أيضًا بهذه الحقيقة التشريحية، فلقد قيل إن مراهم الطيران دهنت على جميع أنحاء الجسم أو فركت تحت الذراعين، وعلى استحياءٍ، «في أماكن أخرى يغطيها الشَّعر». ذكرت بعض التقارير أن السحرة وضعوا الدهون والزيوت على المقبض الطويل للمكنسة، وجلسوا بساقين منفرجتين، ثم فركوا ذلك المزيج الذي يحتوي على الأتروبين والسكوبولامين على الأغشية التناسلية. تتضح الدلالات الجنسية لهذه الروايات، كما هي الحال مع النقوش المبكرة للساحرات العاريات أو اللائي يرتدين نصف ملابسهن، ويركبن عصي المكانس، ويضعن المراهم ويرقصن حول القدور.

التفسير الكيميائي هو، بطبيعة الحال، أن هؤلاء الناس الذين أطلق عليهم وصف السَّحرة لم يطيروا على عصي المكانس إلى تجمعات السَّابات. ما هذه الرحلات الجوِّية إلَّا محض خيالات، وأوهام تسببت فيها القلويدات التي أصابتهم بالهلوسة. وقد جاءت الروايات الحديثة عن حالات الهلوسة الناجمة عن السكوبولامين والأتروبين تبدو بصورة ملحوظة مثل مغامرات السَّحرة في منتصف الليل: الإحساس بالطيران أو الهبوط، والرؤية المشوهة المضطربة، والإيفوريا والنشوة، والهستيريا، والشعور بمغادرة الجسد، والبيئة المُحيطة

التي تبدو وكأنَّها دوَّامة دوارة، والمواجهات مع الوحوش. المرحلة الأخيرة من هذه العملية هي النوم العميق الذي يشبه الغيبوبة تقريبًا.

ليس من الصعب أن نتصور، في زمن غارق حتى النُّخاع في السّحر والشعوذة والخرافات، اعتقاد مستخدمي مراهم الطّيران بأنهم طاروا في سماء الليل وشاركوا في رقصات جامحة واحتفالات أكثر جموحًا. جاء وصف الهلوسة الناجمة عن الأتروبين والسكوبولامين وكأنَّها واقع ملموس لا غموض ولا لبس فيه. وبذا لن يسع أي ساحرة إلَّا أن تصدق أنَّ ذلك المرهم الذي صنعته للطيران فعَّال وليس مُجرد طيران في حدود عقلها فقط. بل ومن الصعَّب أن تتخيل الكيفية التي تناقل به هذا العلم بالسّر العجيب؛ وكان من الممكن الإبقاء عليه سرًّا عجيبًا. اختبرت معظم النِّساء الحياة في هذه الأوقات وعايشتها معيشة صعبة. العمل لم يتوقف قط ولم ينتهِ، وظل المرض والفقر حاضرين في المشهد، ولم يُسمع حينها أنَّ للمرأة سيطرة على مصير حياتها كما لم يُعترف بذلك. فلا غرو أنَّ بضع ساعات من الحرية، وامتطاء السماء إلى تجمع تُمارس فيه كلّ الخيالات والتخيلات الجنسية، ثم الاستيقاظ في صباح اليوم التالي بأمان، لهو إغراء عظيم حينها. لكن لسوء الحظ فإن الهروب المؤقت من الواقع الذي خلقته جزيئات الأتروبين والسكوبولامين في أغلب الأحيان كان قاتلًا، وذلك لأنَّ النساء المتهمات بممارسة السحر واللائي اعترفن بمثل هذه الأعمال الخيالية في منتصف الليل عُدمن حرقًا على الأوتاد.

لم يقتصر الأمر على مزج نبتة اللفاح، والنَّبات الباذنجاني ظلّ الليل القاتل، والهينبان، بل أضيفت نباتات أخرى في مراهم الطيران:

أُدرجت نباتات قفاز الثعلب، والبقدونس، ونبات قلنسوة الرَّاهب، والشوكران، وعشبة التّفاح الشوكي في الروايات التاريخية. توجد قلويدات سامة في نبتة قلنسوة الراهب والشوكران، وجليكوسيدات سامة في قفاز الثعلب، وميريستيسين الذي يُسبب الهلوسة في نبات البقدونس، أمَّا في التفاح الشوكي فيوجد الأتروبين والسكوبولامين. نبتة التفاح الشوكي[1] هي *الداتورا*؛ تفاحة فخ الشيطان، وبوق الملاك، حشيشة خبيثة الرَّائحة، وأعشاب جيمسون جميعها من ضمن النباتات الأخرى في هذا الجنس. ذاع انتشار الداتورا الآن على نطاق واسع في الأجزاء الأكثر دفئًا من العالم، أمَّا في الماضي فإنها وفرت القلويدات للساحرات في أوروبا بالإضافة إلى تهيئة الطقوس التلقينية والمناسبات الاحتفالية الأخرى في آسيا والأمريكتين. يكشف الفولكلور المرتبط باستخدام الداتورا في هذه البلدان عن هلاوس تتخللها هيئات حيوانية، وهو جانب كثر شيوعه إلى حد هائل في رحلات السحرة في السماء. تُضاف في أجزاء من آسيا وإفريقيا بذور الداتورا في الخلطات التي يُصنع منها المُدخِّنات. تجدر الإشارة إلى أنَّ امتصاص المواد ودخولها إلى مجرى الدم عن طريق الرئتين هو وسيلة أثبتت سُرعتها العالية في الحصول على «تأثير لحظي قصير» من مادة شبه قلوية، كما اكتشف مدخنو التبغ الأوروبيون فيما بعد في القرن السادس عشر. لا تزال حالات التسمم بالأتروبين ترد باستمرار

(1) ملحوظة المترجمة: وردت له أسماء عدة، مثل: داتورة، طاطور (مصر)، مرنحة (الإمارات).

في التقارير حتى اليوم، حيث يستخدم الباحثون عن الإثارة أزهار الداتورا أو أوراقها أو بذورها للوصول إلى حالة من النشوة.

أُدخل عدد من عائلة الباذنجانيات إلى أوروبا من العالم الجديد بعد وقت قصير من رحلات كولومبوس. نالت بعض المنتجات التي تحتوي على قلويدات -التبغ (*نيكوتيانا*) والفلفل (*الكابسيكوم*)- قبولًا فوريًا، ولكن من المثير للدهشة أن الأعضاء الآخرين في هذه العائلة -الطماطم والبطاطا- لاقوا في بداية الأمر نظرة شك وارتياب كبيرين.

توجد قلويدات أخرى تشبه الأتروبين من الناحية الكيميائية في أوراق عدة أنواع من شجرة *إريثروكسيلون* شجرة الكوكا، موطنها الأصلي أجزاء من أمريكا الجنوبية. شجرة الكوكا ليست عضوًا في عائلة الباذنجانيات، وهو أمر غير عادي، وذلك لأنَّه عادة توجد المواد الكيميائية التي تجمعها صلة كيميائية ما في عائلة واحدة كيميائيًّا متشابهة. أمَّا من النظرة التاريخية، فصُنفِّت النباتات على أساس الخصائص المورفولوجية[1]. تأخذ المراجعات الآن في عين الحسبان المكونات الكيميائية وأدلة الحمض النووي.

(1) ملحوظة المترجمة: المورفولوجي فرع عن الأحياء يدرس شكل الكائنات الحية وتركيبها من المظهر الخارجي.

القلويد الرئيس في شجرة الكوكا هو الكوكايين. استخدمت أوراق الكوكا بصفتها منشطًا على مدار مئات السنين في المناطق المرتفعة في بيرو والإكوادور وبوليفيا. تُخلط الأوراق مع عجينة من الليمون، ثم توضع بين اللثة والخد، حيث تتحرر القلويدات ببطء، وتساعد على مقاومة التعب والجوع والعطش. تشير التقديرات إلى أن كمية الكوكايين الممتصة بهذه الطريقة تقل عن نصف جرام يوميًّا، وهو أمر لا يسبب الإدمان. هذه الطريقة التقليدية لاستخدام قلويد الكوكا تشبه استخدامنا للكافيين القلويدي في القهوة والشاي. لكن الكوكايين، المستخرج والمنقى، أمر مختلف.

عُزِلَ الكوكايين في ثمانينيات القرن التاسع عشر، ولطالما نُظر إليه على أنَّه عقّار عجيب. تميز بخصائص المخدر الموضعي الفعالة فعالية تثير الدهشة والعجب. رأى الطبيب النفسي سيجموند فرويد أن الكوكايين علاج طبي وكتبه في الوصفات الطبية بفضل خصائصه المنشطة. كما استخدمه لعلاج إدمان المورفين. ولكن سرعان ما أصبح من الواضح أن الكوكايين نفسه يسبب الإدمان الشديد، مثل أي مادة أخرى معروفة. ينتج حالة نشوة وإيفوريا سريعة وشديدة، يتبعها اكتئاب شديد بالقدر نفسه، مما يجعل المستخدم يتوق إلى مستوى مرتفع آخر من النشوة. لا تخفى العواقب الوخيمة على صحة الإنسان والمجتمع الحديث لتعاطي الكوكايين على أحد. على الرّغم من ذلك، فإن بنية الكوكايين هي الأساس لعدد من الجزيئات عظيمة النفع التي جرى العمل على تطويرها لتصبح مخدرًا موضعيًّا. البنزوكائين والنوفوكائين والليدوكائين هي مركبات تحاكي عمل الكوكايين المدمر

للألم عن طريق منع انتقال النبضات العصبية، لكنها تفتقر إلى قدرة الكوكايين على تحفيز الجهاز العصبي أو تعطيل ضربات القلب. ولحسن الحظ، فقد شهد الكثير منا التأثير المخدر لهذه المركبات في كرسي طبيب الأسنان أو في غرفة الطوارئ في المستشفى.

القلويدات الإرجوت

تُوجد مجموعة أخرى من القلويدات لها بنيّة مختلفة تمامًا، وعلى الأرجح إنها مسئولة، ولو مسئولية غير مباشرة، عن آلاف من عمليات حرق السحرة في أوروبا. لكن هذه المركبات لم تستخدم في مراهم الهلوسة. قد تذهب تأثيرات بعض الجزيئات القلويدية من مجموعة القلويدات إلى حدّ الدمار إلى درجة أنَّ مجتمعات كاملة، لحقت بها معاناة مُروِّعة، ظنوا أنَّ هذه الكارثة لعلها تعويذة شر ألقها أحد السحرة في منطقتهم. عُثر على هذه المجموعة من القلويدات في فطر الإرجوت، كلافيسبس بوربوريا[1]، الذي يصيب الكثير من الحبوب، ولا سيِّما حبوب الجاودار. ظلت الإرجوتيّة أو التسمم الإرجواني أو التسمم بالإرجوت حتى وقت قريب إلى حد ما ثاني أكبر قاتل للميكروبات بعد البكتيريا والفيروسات. أحد هذه القلويدات، وهو الإرجوتامين، يسبب انقباض الأوعية الدموية؛ وآخر، وهو الإرجونوفين، يسبب الإجهاض التلقائي في كل من البشر والماشية؛ أمَّا بعضها الآخر فيُسبِّب اضطرابات عصبيّة. تختلف الأعراض التي تظهر بعد التسمم الإرجواني اعتمادًا على كمية قلويدات الإرجوت

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي: Claviceps Purpurea.

المختلفة الموجودة، ولكن يمكن أن تشمل نوبات التشنجات والنوبات المرضية والصرعات والإسهال والخمول والسلوك الهوسي والهلوسة وتشويه الأطراف والقيء والوخز والإحساس بأنَّ شيئًا يزحف مرورًا على الجلد والشعور بالخدر في اليدين. والقدمين، ويصبح الإحساس بالحرقان مؤلمًا إلى حدٍّ لا يُحتمل مع ظهور الغرغرينا الناتجة عن انخفاض الدورة الدموية في النهاية. شاع هذا المرض، في العصور الوسطى، وصار معروفًا بأسماء مختلفة: النار المقدسة، ونار القديس أنتوني، والنار الغامضة، ورقصة القديس فيتوس. أمَّا الإشارة إلى النَّار فسببها الإحساس بالألم الشديد المميت والأطراف السوداء الناجمة عن انتشار الغرغرينا. في كثير من الأحيان قد تُفقد اليدان أو القدمان أو الأعضاء التناسلية. أمَّا القديس أنطونيوس فتمتع بقوى خاصة ضد النار والعدوى والصرع، مما جعله القديس الذي يلجأ إليه للتخفيف من التسمم الإرجوانيّ. تشير «رقصة» في مصطلح رقصة القديس فيتوس إلى الارتعاش والالتواءات التشنجيّة بسبب التأثيرات العصبية لبعض قلويدات الإرجوت.

ليس من الصعب أن نتصور بأذهاننا موقفًا أصيب فيه عدد كبير من القرويين أو سكان المدن بالإرجوتية. وتحديدًا الفترة الممطرة قبل الحصاد مباشرة من شأنها أن تشجع نمو الفطريات على حبوب الجاودار؛ كما أنَّ سوء تخزين الحبوب في ظروف رطبة من شأنه أن يعزز نمو هذه الفطريات نموًا متزايدًا. يكفي أن تُوجد كمية صغيرة فقط من الإرجوت في الدقيق للإصابة بتسمم الإرجوت. ومع ظهور الأعراض المخيفة على عدد متزايد من سكان المدينة، لعل النَّاس

راودها التساؤل عن سبب تعرض مجتمعهم للكوارث، وبخاصة وأنَّ البلدات المجاورة لم تظهر عليها أي علامة على المرض. قد يبدو من المعقول تمامًا أن قريتهم قد سُحِرت. وكما هو الحال في الكثير مع الكوارث الطبيعية، يُلقى اللوم في كثير من الأحيان على رأس امرأة مسنة بريئة، وهي امرأة لم تعد مفيدة للإنجاب وربما لم يكن لديها أي دعم عائلي. في كثير من الأحيان تعيش مثل هؤلاء النساء في ضواحي المجتمع، وربما يعشن على مهاراتهن بصفتهن متخصصات في الأعشاب وغير قادرات على تحمل حتى المبلغ الزهيد المطلوب لشراء الدقيق من الطحان في المدينة. كان من الممكن أن ينقذ هذا المستوى من الفقر المرأة من التسمم الإرجوتي، ولكن ويا للمفارقة، نظرًا إلى أنَّها الشخص الوحيد الذي لم تمسه سموم الإرجوت، فقد أمست أكثر شخصٍ يُشار إليه بأصابع الاتهام بالسِّحر.

لطالما عُرف التسمم بالإرجوت منذ زمن طويل. كما أنَّه أشير إلى سببه في تقارير تعود إلى عام 600 قبل الميلاد، عندما لاحظ الآشوريون وجود «بثرة ضارة في سنبلة الحبوب.» سُجِّل أن قلويدات الإرجوت التي استُخرجت من «الأعشاب الضارة» يمكن أن تسبب إجهاض الماشية، وذلك في بلاد فارس حوالي عام 400 قبل الميلاد. أمَّا في أوروبا، فيبدو أن المعرفة بأن الفطريات أو العفن الموجود على الحبوب هو سبب المشكلة ظلَّت معرفة غائبة عن الأذهان -هذا إذا كانت معروفة من قبل- خلال العصور الوسطى. مع فصول الشتاء الرطبة والتخزين غير المناسب، ازدهر العفن والفطريات. وفي مواجهة المجاعة، كان من الممكن استخدام الحبوب الملوثة بدلًا من التخلص منها.

أول ظهور مسجل للتسمم بالإرجوت في أوروبا، تمَّ في عام 857 م، في وادي الراين في ألمانيا. أمَّا التقارير الموثقة عن أربعين ألف حالة وفاة في فرنسا في عام 994 فتُنسب الآن إلى التسمم بالأرجوت، وكذلك اثني عشر ألفًا آخرين في عام 1129. وقعت حالات تفشي دورية على مر القرون واستمرت حتى القرن العشرين. في الفترة ما بين 1926 إلى عام 1927، أصيب أكثر من أحد عشر ألف شخص بالإرجوتية في منطقة في روسيا بالقرب من جبال الأورال. كما سُجلت تقارير عن مائتي حالة في إنجلترا في عام 1927. وفي بروفانس في فرنسا، في عام 1951، توفي أربعة وأصيب مئات آخرون بالمرض بسبب التسمم الأرجوتي بعد طحن حبوب الجاودار المصاب بفطر الإرجوت وبيع الدقيق إلى خباز، على الرغم من أن المزارع والطحان والخبَّاز من المفترض أنَّهم على علم بالمشكلة.

ذُكر على الأقل أربع مناسبات يُقال فيهن إنَّ قلويدات الإرجوت لعبت دورًا في مسار التَّاريخ. خلال إحدى الحملات في بلاد الغال، في القرن الأول قبل الميلاد، تسبب انتشار وباء الأرجوتية بين فيالق يوليوس قيصر في معاناة شديدة، وقلل من كفاءة جيشه ونشاطه، ومن المحتمل أنَّه أدى إلى تقليص طموحات قيصر في توسيع الإمبراطورية الرومانية. في صيف عام 1722، عسكر قوزاق بطرس الأكبر في مدينة أستراخان، عند مصب نهر الفولجا على بحر قزوين. أكل كل من الجنود وخيولهم حبوب الجاودار الملوث بالفطر. من المفترض أن التسمم الناتج عن ذلك أدى إلى مقتل عشرين ألف جندي وشل جيش القيصر لدرجة أن حملته المخططة ضد الأتراك قد أُجهضت.

وهكذا تحقق منع هدف روسيا المتمثل في إنشاء ميناء جنوبي على البحر الأسود بسبب قلويدات الإرجوت.

كما جاء في فرنسا، في يوليو في عام 1789، قام آلاف العُمال الزراعيُّون بأعمال شغب ثورةً ضد ملاك الأراضي الأثرياء. أفاد وجود أدلة على أن هذه الحادثة، التي أطلق عليها اسم *لا جوند بِيغ* (الخوف العظيم)، كانت أكثر من مجرد اضطرابات مدنية امتدادًا للثورة الفرنسية. تعزو السجلات هذه النوبة المدمرة إلى نوبة من الجنون بين السكان الفلاحين وتستشهد بـ«الدقيق الفاسد» بصفته سببًا محتملًا. تميَّز الربيع والصيف في عام 1789 في شمال فرنسا برطوبته ودفئه في العادة، وهي ظروف مثالية لنمو فطر الإرجوت. هل كانت الأرجوتية، الأكثر انتشارًا بين الفقراء، الذين تناولوا الخبز المتعفن بعدما اضطرهم الضرورة إلى ذلك، عاملاً رئيسًا في الثورة الفرنسية؟ كما ورد أن الأرجوتية انتشرت وتوغلت بين صفوف جيش نابوليون في أثناء رحلته عبر السهول الروسية في خريف عام 1812. لذلك ربما تتقاسم قلويدات الإرجوت، إلى جانب القصدير الموجود في أزرار الزي الرسمي، المسؤولية مناصفة عن انهيار الجيش الكبير في أثناء الانسحاب من موسكو.

خلص عدد من الخبراء إلى أن التسمم بالإرجوت هو المسؤول في نهاية المطاف عن اتهامات السحر ضد حوالي 250 شخصًا (معظمهم من النساء) خلال عام 1692 في قرية سالم، في ماساتشوستس. كما تشير الأدلة إلى تورط قلويدات الإرجوت. وصلت زراعة الجاودار في المنطقة في أواخر القرن السابع عشر. تُظهر السجلات أنّ المنطقة

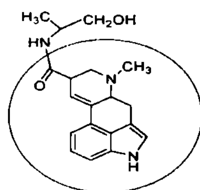
تميزت بجوٍّ دافئ ممطر خلال الربيع والصيف في عام 1691؛ وكانت قرية سالم تقع بالقرب من مروج المستنقعات. تشير كل هذه الحقائق إلى احتمالية إصابة الحبوب المستخدمة في دقيق الشَّعب بالفطريات. أتت الأعراض التي أظهرها الضحايا متطابقة مع حالة الأرجوتية، وبخاصة النوبات التشنجيّة بسبب الأرجوتية: الإسهال، والتقيؤ، والتشنجات، والهلوسة، والنوبات المرضية والصرعات، والهذيان بمناغاة، والتشوهات الغريبة في الأطراف، والإحساس بالوخز، واضطرابات حسية حادة.

يبدو من المحتمل، على الأقل في البداية، أن الأرجوتية هي السبب وراء مطاردة الساحرات في سالم؛ جميع الضحايا الثلاثين الذين ادعوا أنهم مسحورون تقريبًا من الفتيات أو الشابات، ومن المعروف أن الشباب أكثر عرضة لتأثيرات قلويدات الإرجوت. ومع ذلك، فإن الأحداث اللاحقة، بما في ذلك محاكمة الأشخاص الذين ألحقت إليهم تهمة السحر والعدد المتزايد من الاتهامات، التي غالبًا ما وردت عن أشخاص خارج المجتمع، تشير أكثر إلى الهستيريا أو مجرد حقد واضح.

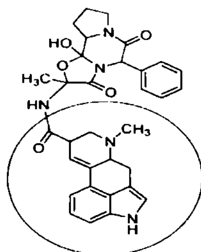
لا يُمكن تفعيل الأعراض التي تُسببها الأرجوتيّة أو إيقافها. وتلك الظاهرة الشائعة في المحاكمات -وهي إصابة الضحايا بنوبة تشنجيّة عندما تواجههم الساحرة المتهمة- لا تتفق مع أعراض الأرجوتية. مما لا شك فيه أنه، بعد الاستماع إلى الاتهامات وإدراك القوة المستخدمة، أنَّ الضحايا المُلحق بهم هذه التهمة سوف يدينون جيرانهم الذين يعرفونهم وسكان المدينة الذين نادرًا ما يسمعون عنهم. إن معاناة الضحايا الحقيقيين لمطاردات الساحرات في قرية سالم -الأشخاص

التسعة عشر الذين شنقوا (وواحد دُفع حتى الموت بوضع كومة من الصخور فوقه)، وأولئك الذين عذبوا وسجنوا، ودُمرت عائلاتهم- يمكن إرجاعها إلى جزيئات الإرجوت، ولكن العطب الأخلاقي والوهن في البشر يُشارك بنصيبه في هذه المسئولية في النهاية.

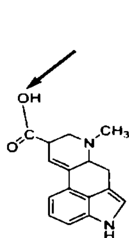
مثل الكوكايين، فإن قلويدات الإرجوت، على الرغم من أنها سامة وخطيرة، استخدمت في العلاج إلى حدّ أن لها تاريخًا طويلًا في ذلك، ولا تزال مشتقات الإرجوت تلعب دورًا في الطب. لعدة قرون، استخدم المعالجون بالأعشاب والقابلات والأطباء مستخلصات من الإرجوت لتسريع الولادة أو إجراء عمليات الإجهاض. تُستخدم اليوم قلويدات الإرجوت أو النواتج بعد التعديلات الكيميائية لهذه المركبات مضيقًا للأوعية لعلاج الصداع النصفي، ولعلاج نزيف ما بعد الولادة، ومنشطات لانقباضات الرحم في أثناء الولادة.



إرجوفين



الإرجوتامين

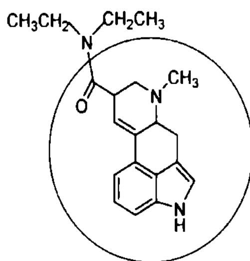


حمض الليسرجيك

تتميز جميع قلويدات الإرجوت بالخاصية الكيميائية المشتركة نفسها؛ هي مشتقات من جزيء يعرف باسم حمض الليسرجيك. تحل محل مجموعة الهيدروكسيل (OH) (المشار إليها بالسهم في الرسم التالي) من حمض الليسرجيك مجموعة جانبية أكبر، كما هو موضح

في جزيء الإرجوتامين (المستخدم لعلاج الصداع النصفي الشديد) وجزيء الإرجوفين (المستخدم لعلاج نزيف ما بعد الولادة). في هذين الجزيئين يكون جزء حمض الليسرجيك محاطًا بدائرة.

في عام 1938، بعد أن سبق إعداد عدد من المشتقات الاصطناعية لحمض الليسرجيك التي أثبت بعضها فائدته، عمل ألبرت هوفمان، وهو كيميائي يعمل في مختبرات الأبحاث التابعة لشركة الأدوية السويسرية ساندوز، في مدينة بازل، على إعداد مشتق آخر. كان هذا هو المشتق الخامس والعشرون الذي صنعه، ولذلك أطلق عليه اسم ثنائي إيثيلاميد حمض الليسرجيك إل إس دي 25 (LSD-25)، المعروف الآن بالطبع مُجردًا بإل إس دي (LSD). لا يُوجد ما هو جدير بالملاحظة في خصائص هذا المشتق.



ثنائي إيثيلاميد حمض الليسرجيك إل إس دي 25 (LSD-25)، أو إل إس دي كما هو شائع. حمض الليسرجيك هو الجزء المُحدد في دائرة

لم يكن الأمر كذلك حتى عام 1943، عندما صنع هوفمان هذا المشتق مرة أخرى، حين شهد عن غير قصد أول ما أصبح معروفًا في الستينيات باسم الرحلة الحمضية. لا يمتص عقار إل إس دي عبر

الجلد، لذا من المحتمل أن هوفمان هو الذي نقل عقار إل إس دي من أصابعه إلى فمه. بأثر طفيف فقط كان من الممكن أن ينتج ما وصفه بأنه تجربة «تدفق متواصل من الصور الرائعة، والأشكال غير العادية مع تلاعب مكثف بالألوان وكأنني أنظر إلى منظار كاليدسكوب[1]».

قرر هوفمان تعاطي عقار إل إس دي عمدًا لاختبار افتراضه بأن هذا هو المُركَّب الذي يسبب الهلوسة. وكانت الجرعة الطبية لمشتقات حمض الليسرجيك مثل الإرجوتامين لا تقل عن بضعة ملليجرامات. فكَّرَ، بلا شك، أنه بذلك يأخذ حذره، ابتلع ربع مليجرام فقط، وهي كمية لا تقل عن خمسة أضعاف الكمية اللازمة لإنتاج تأثيرات الهلوسة المعروفة الآن. إن عقار إل إس دي أقوى بعشرة آلاف مرة كمهلوس من المسكالين الموجود بصورة طبيعيّة، الذي يوجد في صبار البيوت في تكساس وشمال المكسيك ويستخدمه الأمريكيون الأصليون لعدة قرون في احتفالاتهم الدينية.

ما إن شعر هوفمان بالدوار بسرعة، حتى طلب من مساعده أن يرافقه له في أثناء قيادة دراجته إلى منزله في شوارع مدينة بازل. خلال الساعات القليلة التي تلت ذلك، مرَّ بمجموعة كاملة من التجارب التي عرفها المستخدمون لاحقًا على أنها رحلة سيئة. بالإضافة إلى الهلوسة البصرية، فقد أصبح مصابًا باضطراب الارتياب، وتناوبت

---

(1) ملحوظة المترجمة: المشكال أو الكاليدوسكوب: هو لُعبة أو أداة للنظر، أسطوانية الشكل، على جانبيها أسطح عاكسة (مرايا)، وفي أحد طرفيها قطع ملونة من الزجاج أو البلاستيك، والطرف الآخر هو زاوية النظر. تنعكس ألوان القطع الملونة على أحد الأسطح العاكسة، فيتكرر هذا الانعكاس على الأسطح الأخرى، فيخلق شكلًا متناغمًا من الألوان.

مشاعر القلق الشديد والشلل، وكان يثرثر كأنَّه طفل يُصدر أصوات مناغاة بشكل غير متماسك، ويخشى الاختناق، ويشعر أنه ترك جسده، ويُدرك الأصوات بصريًا. في مرحلة ما، فكر هوفمان في إمكانية تعرضه لتلف دائم في الدماغ. هدأت أعراضه تدريجيًا، على الرغم من استمرار الاضطرابات البصرية لديه لبعض الوقت. استيقظ هوفمان في الصباح بعد هذه التجربة وهو يشعر بأنه طبيعي تمامًا، مع تمتعه بذاكرة كاملة لما حدث ولكن على ما يبدو من دون أي آثار جانبية.

في عام 1947 عملت شركة ساندوز في تسويق عقار إل إس دي بصفته أداة في العلاج النفسي، وعلى وجه الخصوص لعلاج الفصام المحدث بالكحول. في الستينيات، أصبح عقار إل إس دي مخدرًا شائعًا بين الشباب في جميع أنحاء العالم. وقد روج له تيموثي ليري، وهو عالم نفس وعضو سابق في مركز جامعة هارفارد للأبحاث الشخصية، بوصفه دِين القرن الحادي والعشرين والطريق إلى تلبية الرغبات الروحية والإبداعيّة. اتبع الآلاف نصيحته التي جاءت في شعاره: «ابدأ حد الاشتعال، تناغم حد الانتباه، انسحب حدّ التخلي.» هل كان هذا الهروب من الحياة اليومية الذي حفزته القلويدات في القرن العشرين مختلفًا تمامًا عن ذلك الذي عاشته النساء المتهمات بممارسة السحر قبل بضع مئات من السنين؟ على الرغم من أن القرون متباعدة، فالتجارب المخدرة لم تكن إيجابية دائمًا. في حال أطفال الزهور[1] في الستينيات، فإن تناول عقار إل إس دي المشتق من

(1) ملحوظة المترجمة: لقب أُطلق على الهيبيز أحيانًا لأنهم كانوا يقدمون الزهور إلى النَّاس ويدعون إلى إظهار الرقة والحب.

القلويدات يمكن أن يؤدي إلى استرجاع ذكريات الماضي، وحالات ذهان دائم، وفي الحالات القصوى الانتحار؛ أمَّا سحرة أوروبا، فإن امتصاص قلويدات الأتروبين والسكوبولامين من مراهم الطيران التي أعدوها يمكن أن يؤدي إلى الحرق على الأوتاد.

قلويدات الأتروبين والإرجوت لا تسبب السحر. ومع ذلك، فُسرت آثارها على أنها دليل ضد أعداد كبيرة من النساء الأبرياء، وعادة ما يكون الأكثر فقرًا وضعفًا في المجتمع. قد يقدم المتهمون قضية كيميائية ضد الساحرة: «لا بد أنها ساحرة، وتقول إنها تستطيع الطيران» أو «لا بد أنها مذنبة، فالقرية بأكملها مسحورة». المواقف التي سمحت باضطهاد النساء لأربعة قرون كساحرات لم تتغير فورًا بمجرد توقف عمليات الحرق. هل أسهمت هذه الجزيئات القلويدية في تراث التحيز ضد المرأة، وهي وجهة نظر ربما لا تزال باقية في مجتمعنا؟

في أوروبا في العصور الوسطى، حافظت النساء اللاتي تعرضن للاضطهاد على الإلمام بالمعرفة المهمة بالنباتات الطبية، كما فعل السكان الأصليون في أجزاء أخرى من العالم. من دون هذه التقاليد العشبية، ربما لم نكن لننتج مجموعتنا الحالية من العقاقير. ولكن اليوم، ونحن توقفنا عن إعدام أولئك الذين يقدرون العلاجات الفعالة من عالم النبات، فإننا نقتلع النباتات بدلًا من ذلك. هذه الخسارة المستمرة للغابات الاستوائية المطيرة في العالم، التي تقدر الآن بحوالي مليوني هكتار كل عام، قد تحرمنا من اكتشاف قلويدات أخرى يمكن أن تصبح أكثر فعالية في علاج مجموعة متنوعة من الحالات والأمراض.

قد لا نعرف أبدًا أن هناك جزيئات ذات خصائص مضادة للأورام، تنشط ضد فيروس نقص المناعة البشرية (HIV)، أو يمكن أن تُوجد عقاقير عجيبة لمرض انفصام الشخصية، أو لمرض الزهايمر أو مرض باركنسون في النباتات الاستوائية التي تصبح يومًا بعد يوم أقرب إلى الانقراض. من وجهة نظر جزيئية، لعل الفولكلور في الماضي مفتاح لبقائنا في المستقبل.

الفصل الثالث عشر

المورفين والنيكوتين والكافيين

بالنظر إلى ميل الإنسان إلى الرغبة في تلك الأشياء التي تجعلنا نشعر بالسعادة، فإنه لا يُثير الدهشة أن يجري البحث عن ثلاثة جزيئات قلويدية مختلفة -المورفين من خشخاش الأفيون، والنيكوتين من التبغ، والكافيين من الشاي والقهوة والكاكاو- وقُدِّرت قيمتها لآلاف السنين. ولكن على الرغم من كل فائدة جلبتها هذه الجزيئات إلى البشرية، فقد شكلت أيضًا خطرًا. على الرغم من طبيعتها الإدمانية، أو ربما بسببها، أثرت في الكثير من المجتمعات المختلفة بطرق متنوعة. اجتمع الثلاثة معًا على نحوٍ غير متوقع عند تقاطع واحد في التاريخ.

حروب الأفيون

على الرغم من أنَّ الأمر يرتبط في الوقت الحاضر بصورة أساسية بالمثلث الذهبي -المنطقة الحدودية لبلدان بورما ولاوس وتايلاند- فإن نبات خشخاش الأفيون، *بابّافير سومنيفروم*[1]، موطنه الأصلي منطقة شرق البحر الأبيض المتوسط. ربما جُمعت منتجات نبات خشخاش الأفيون وحظيت بتقديرٍ منذ عصور ما قبل التاريخ. تشير

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم العلمي باللاتينية: Papaver somniferum.

الأدلة إلى أنه منذ أكثر من خمسة آلاف عام، عُرفت خصائص الأفيون في دلتا نهر الفرات، التي يُنسب إليها عمومًا موقع أول حضارة إنسانية معروفة. اكتشفت دلائل أثرية تشير إلى استخدام الأفيون قبل ثلاثة آلاف عام على الأقل في قبرص. كما أُدخل الأفيون في قوائم الأعشاب والوسائل العلاجية البديلة عند اليونانيين والفينيقيين والمينويين والمصريين والبابليين وغيرهم من الحضارات القديمة. من المفترض أنه في حوالي عام 330 قبل الميلاد، أخذ الإسكندر الأكبر الأفيون إلى بلاد فارس والهند، حيث انتشرت زراعته ببطء شرقًا ووصلت إلى الصين في حوالي القرن السابع.

ظل الأفيون لمئات السنين عشبًا طبيًّا، إما يُشرب في صورة عصير منقوع مرير وإمَّا يُبتلع في صورة حبيبات ملفوفة. بحلول القرن الثامن عشر، وبخاصة القرن التاسع عشر، استخدم الفنانون والكتاب والشعراء في أوروبا والولايات المتحدة الأفيون للوصول إلى حالة ذهنية تشبه الحلم كان يُعتقد أنها تعزز الإبداع. نظرًا إلى أنه أقل تكلفة من الكحول، فقد وَجَدَ الأفيون لنفسه مسارًا آخر أيضًا حين استخدمه الفقراء بصفته مُسْكِرًا رخيص الثمن. خلال هذه السنوات، فإن خصائصه التي تجعل استخدامه عادة، إذا ما أُدركت، نادرًا ما كانت مثيرة للقلق. ظل استخدامه واسع الانتشار إلى درجة أنه حتى الأطفال الصغار والرضع في مرحلة التسنين حصلوا على جرعات من مستحضرات الأفيون وذلك لأنَّه أُعلن عنها على أنها شراب مهدئ وعصائر تحتوي على ما يصل إلى 10 بالمائة من المورفين. اللودانوم، وهو محلول من الأفيون في الكحوليات يُوصى به في كثير

من الأحيان للنساء، ظل يُستهلك على نطاق واسع وصار متاحًا في أي صيدلية من دون وصفة طبية مقررة. بقيَ شكلًا من أشكال الأفيون مقبولًا اجتماعيًّا حتى جاء حظره في أوائل القرن العشرين.

ظلَّ الأفيون في الصين عشبًا طبيًا ذا سُمعة ومكانة محترمين على مدار مئات السنين. ولكن إدخال نبات جديد يحتوي على قلويدات، وهو التبغ، أدى إلى تغيير دور الأفيون في المجتمع الصيني. لم يكن التدخين معروفًا في أوروبا حتى أعاد كريستوفر كولومبوس، في نهاية رحلته الثانية في عام 1496، التبغ من العالم الجديد، وهذا المكان الذي رآه هناك قيد الاستخدام. انتشر تعاطي التبغ انتشارًا سريعًا، على الرغم من العقوبات الصارمة المفروضة على حيازته أو استيراده في الكثير من بلدان آسيا والشرق الأوسط. أمَّا في الصين، في منتصف القرن السابع عشر، فمنع آخر إمبراطور من أسرة مينغ تدخين التبغ. من المحتمل أن الصينيين شرعوا في تدخين الأفيون بصفته بديلًا للتبغ المحظور، كما تشير بعض التقارير. ينسب مؤرخون آخرون الفضل إلى البرتغاليين من مراكز تجارية صغيرة في فورموزا (تايوان الآن) وأموي في بحر الصين الشرقي في تعريف التجار الصينيين بفكرة خلط الأفيون بالتبغ.

إن تأثير القلويدات مثل المورفين والنيكوتين، التي تدخل مباشرة في مجرى الدم من خلال الدخان المستنشق إلى الرئتين، لتأثير سريع ومكثف على نحو غير عاديّ. عندما يؤخذ الأفيون بهذه الطريقة، فإنه سرعان ما يصبح مسببًا للإدمان. مع بداية القرن الثامن عشر، انتشر تدخين الأفيون انتشارًا على نطاق واسع في جميع أنحاء الصين. في عام

1729، صدر مرسوم إمبراطوري يحظر استيراد الأفيون وبيعه في الصين، ولكن على الأرجح كان الأوان قد فات. ظلَّت ثقافة تدخين الأفيون والشبكة الواسعة من التوزيع والتسويق الخاصة بالأفيون، راسخة رسوخًا فعليًّا.

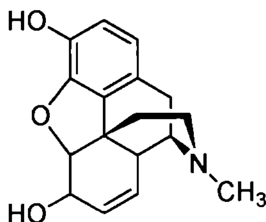
ها قد حان الوقت ليدخل القلويد الثالث، أي الكافيين، إلى القصة. لم يجد التجار من أوروبا في السابق في التجارة مع الصِّين قناعة واكتفاء كافيين. فلم تستعد الصِّين إلا لشراء عدد قليل محدود من المنتجات القادمة من أوروبا، وعدد أقل من السلع المصنعة التي أرادت الدول التجارية الهولندية والبريطانية والفرنسية وغيرها من الدول التجارية الأوروبية بيعها. لكن الصادرات الصينية ظلت مطلوبة في أوروبا، وبخاصة الشاي. على الأرجح الكافيين، وهو الجزيء القلويدي الذي يسبب الإدمان إدمانًا خفيفًا في الشاي، هو الذي أشعل شهية الغرب التي لا تشبع للأوراق المجففة لشجيرة كانت تنمو منذ العصور القديمة في الصين.

الصينيون حينها على أهبة الاستعداد لبيع شايهم، لكنهم أرادوا أن يحصلوا على أموالهم بالعملة الفضية أو السبائك. في نظر البريطانيين، لم يكن شراء الشاي بالفضة الثمينة هو تعريفهم للتجارة. سرعان ما بدا واضحًا وضوحًا عيانًا أن سلعة واحدة، رغم أنها غير قانونية، يريدها الصينيون ولا يملكونها. وهكذا دخلت بريطانيا تجارة الأفيون. في ذلك الوقت كان الأفيون، الذي زرع في البنغال وأجزاء أخرى من الهند البريطانية على يد وكلاء شركة الهند الشرقية البريطانية، يباع لتجار مستقلين. ثم أُعيد بيعه بعد ذلك إلى المستوردين الصينيين،

وغالبًا ما تحقق ذلك تحت حماية المسؤولين الصينيين المرتشين. وفي عام 1839 حاولت الحكومة الصينية وقف هذه التجارة المحظورة والمزدهرة. صادرت ودمرت مخزونًا من الأفيون لمدة عام كان موجودًا في مستودعات في كانتون (مدينة جوانجتشو حاليًا) وفي السفن البريطانية التي تنتظر تفريغ حمولتها في ميناء كانتون. وبعد أيام فقط، اتُهمت مجموعة من البحارة البريطانيين المخمورين بقتل مزارع محلي، مما أعطى البريطانيين ذريعة لإعلان الحرب على الصين. أدى الانتصار البريطاني فيما يسمى الآن بحرب الأفيون الأولى (1839-1842) إلى تغيير الميزان التجاري بين الأمم. طُلب من الصين دفع مبلغ طائل على أنه تعويضات، وفتحت خمس موانئ صينية أمام التجارة البريطانية، كما حصل التنازل عن مدينة هونغ كونغ لتصبح بذلك مستعمرة للتاج البريطاني.

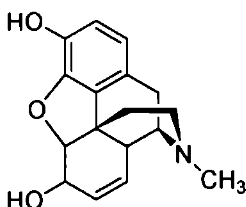
وبعد ما يقرب من عشرين عامًا، أدت هزيمة الصينيين مرَّة أخرى في حرب الأفيون الثانية، شارك فيها الفرنسيون والبريطانيون، إلى انتزاع المزيد من التنازلات من الصين. فُتِح المزيد من الموانئ للتجارة الخارجية، وسمح للأوروبيين بحق الإقامة والسفر، وأعطيت حرية التنقل للمبشرين بالديانة المسيحية، وفي نهاية المطاف تقننت تجارة الأفيون. وأصبح الأفيون والتبغ والشاي مسؤولين عن كسر قرون من العزلة الصينية. دخلت الصين فترة من الاضطرابات والتغيير بلغت ذروتها ثورة في عام 1911.

يحتوي الأفيون على أربعة وعشرين قلويدات مختلفة. أكثرها وفرة، المورفين، يشكل حوالي 10 في المئة من مستخلص الأفيون الخام، وهو إفراز لزج جاف من زهرة الخشخاش. عُزِلَ المورفين النقي لأول مرة من لاتكس الخشخاش هذا في عام 1803 على يد الصيدلي الألماني فريدريك سيرتورنر. وقد أطلق على المركب الذي حصل عليه اسم المورفين، على اسم مورفيوس، إله الأحلام الروماني في الأساطير الإغريقية. المورفين هو مادة مخدرة، وهو جزيء يخدر الحواس (وبالتالي يزيل الألم) ويحث على النوم. أعقب اكتشاف سيرتورنر تحقيقات ومحاولات تقصٍ كيميائية مكثفة، ولكن الصيغة البنائية للمورفين لم تُحدد بصورة نهائية حتى عام 1925. ولا ينبغي لنا أن ننظر إلى هذا التأخير الذي دام 122 عامًا على أنَّه تأخير غير مُنْتِج. على العكس من ذلك، غالبًا ما يرى علماء الكيمياء العضوية أن فك رموز بنية المورفين مفيد للبشرية تمامًا مثل التأثيرات المعروفة لهذا الجزيء في تخفيف الألم. وكانت الطرق الكلاسيكية لتحديد البنية، والإجراءات المعملية الجديدة، وفهم الطبيعة ثلاثية الأبعاد لمركبات الكربون، والتقنيات الاصطناعية الجديدة، مجرد جزء من نتائج حل هذا اللغز الكيميائي الماراثوني. استنتجت بنيات مركبات مهمة أخرى بسبب العمل المنجز على تركيب المورفين.

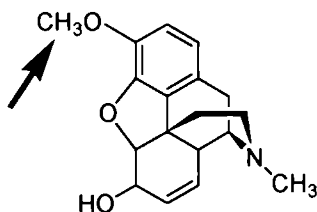


الصيغة البنائية للمورفين. الخطوط الداكنة للروابط في شكل الوتد تُشير (كما يتضح في الرسم السابق) إلى مستوى الورقة.

اليوم، لا يزال المورفين والمركبات المرتبطة به أكثر مسكنات الألم المعروفة فعالية. لسوء الحظ، يبدو أن تأثير مسكن الألم أو المُهدئ له علاقة بالإدمان. الكوديين، وهو مركب مماثل موجود بكميات أقل بكثير (حوالي 0.3 إلى 2 بالمائة) في الأفيون، يُسبب إدمانًا بدرجة أقلّ بل أيضًا مسكن أقل قوة. الفرق في البنية ضئيل. يحتوي الكوديين على مجموعة CH_3O التي تحل محل جزيء الماء (H_2O) في الموضع الموضح بالسهم الموجود على الصيغة البنائية كما يلي.



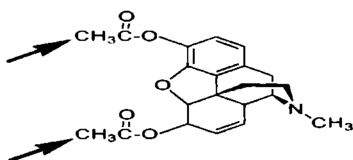
مورفين

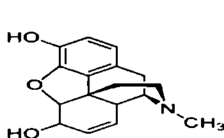


كوديين

الصيغة البنائية للكودبين. يُشير السهم إلى الاختلاف الوحيد بين المورفين والكودبين.

قبل فترة طويلة من معرفة البنية الكاملة للمورفين، جرت محاولات لتعديله كيميائيًا على أمل إنتاج مركب يصير أفضل لتخفيف الألم من دون خصائصه الإدمانية. في عام 1898، في مختبر شركة باير وشركاه، شركة تصنيع الأصباغ الألمانية، حيث كان فيليكس هوفمان قد عالج والده قبل خمس سنوات بحمض أسيتيل الساليسيليك، أخضع الكيميائيون المورفين لتفاعل الأسيلة نفسه الذي أدى إلى تحويل حمض الساليسيليك إلى الأسبرين. تفكيرهم منطقي. تبين أن الأسبرين مسكن ممتاز وأقل سمية بكثير من حمض الساليسيليك.





ثنائي الأسيتيل المشتق من المورفين. يشير السهم إلى مكان المجموعة CH_3CO *التي حلت محل ذرات الهيدروجين في مجموعات الهيدروكسيل في المورفين، فأنتج الهروين.*

ومع ذلك، أتى ناتج استبدال ذرات الهيدروجين لمجموعتي الهيدروكسيل (OH) من المورفين وحل محلها مجموعات CH_3CO بأمر مختلف. في البداية بدت النتائج واعدة ومبشرة. كان ثنائي أسيتيل المورفين مخدرًا أقوى من المورفين، وفعالًا فعالية عالية إلى درجة أنه يمكن إعطاء جرعات ضئيلة. لكن فعاليته ظلت تحجب مشكلة كبيرة، أصبحت واضحة عندما صار الاسم المقبول عمومًا لثنائي أسيتيل المورفين معروفًا. سُوِّق في الأصل باسم الهيروين

-يعني الاسم عقَّار «البطل[1]»- وهو أحد أقوى المواد المعروفة المسببة للإدمان. ظهرت التأثيرات الفسيولوجية للمورفين والهيروين بصورة متشابهة؛ داخل الدماغ تتحول مجموعات ثنائي الأسيتيل من الهيروين مرة أخرى إلى مجموعات الهيدروكسيل (OH) الأصلية من المورفين. لكن جزيء الهيروين ينتقل عبر الحائل الدموي الدماغي بسهولة أكبر من انتقال المورفين، مما يؤدي إلى النشوة السريعة والمكثفة التي يتوق إليها أولئك الذين يتحولون إلى مدمنين.

هيروين باير، الذي كان يُعتقد في البداية أنه خالٍ من الآثار الجانبية الشائعة للمورفين مثل الغثيان والإمساك، وبالتالي افترض أيضًا أنه خالٍ من الخصائص المسببة للإدمان، سُوِّق على أنَّه مثبط للسعال وعلاج للصداع والربو وانتفاخ الرئة وحتى السل. ولكن عندما أصبحت الآثار الجانبية لـ «الأسبرين الخارق» واضحة، توقفت شركة باير وشركاه بهدوء عن الإعلان عنه. عندما انتهت صلاحية براءات الاختراع الأصلية لحمض أسيتيل الساليسيليك في عام 1917 وبدأت شركات أخرى في إنتاج الأسبرين، رفعت شركة باير دعوى قضائية ضد انتهاك حقوق الطبع والنشر بسبب الاسم. ليس من المثير للعجب أن شركة باير لم ترفع دعوى قضائية قط بسبب انتهاك حقوق الطبع والنشر للاسم التجاري للهيروين لثنائي أسيتيل المورفين.

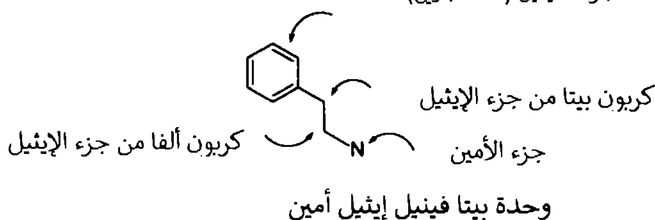
(1) ملحوظة المترجمة: بطل تعني Hero بالإنجليزية، والمركب اسمه Heroin.

تحظر معظم الدول الآن استيراد الهيروين أو تصنيعه أو حيازته. لكن هذا لم يُقدم الكثير لوقف التجارة غير المشروعة لهذا الجزيء. غالبًا ما تواجه المعامل التي تُبنى لتصنيع الهيروين من المورفين مشكلة كبيرة في التخلص من حمض الأسيتيك، وهو أحد المنتجات الجانبية لتفاعل الأسيلة. لحمض الأسيتك رائحة مميزة إلى حد كبير، وهي رائحة الخل، وهو محلول بنسبة 4 في المئة من هذا الحمض. غالبًا ما تنبه هذه الرائحة السلطات إلى وجود مصنع غير مشروع للهيروين. يمكن للكلاب البوليسية المدربة خصيصًا اكتشاف آثار خفية لرائحة الخل أقل من مستوى إدراك حساسية الإنسان لها.

إن البحث في سبب كون المورفين والقلويدات المماثلة مسكنات فعالة للألم يشير إلى أن المورفين لا يحول دون وصول الإشارات العصبية إلى الدماغ. بدلًا من ذلك، فهو يغير تغييرًا انتقائيًا كيفية استقبال الدماغ لهذه الرسائل، أي كيفية إدراك الدماغ للألم الذي تُرسل الإشارات إليه. يبدو أن جزيء المورفين قادر على احتلال مستقبِل الألم في الدماغ وحجبه، وهي نظرية ترتبط بفكرة أنه توجد حاجة إلى شكل معين من البنية الكيميائية لتتناسب مع مستقبل الألم[1]. يحاكي المورفين عمل الإندورفين، وهي مركبات موجودة بتركيزات منخفضة جدًا في الدماغ وتعمل مسكنات طبيعية للألم تزيد من التركيز في أوقات التوتر. الإندورفين هو عديدات الببتيد، وهي مركبات مصنوعة من ربط الأحماض الأمينية معًا، من طرفي

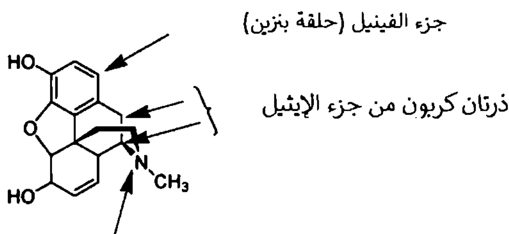
(1) ملحوظة المترجمة: لتبسيط الأمر، يُمكن تخيل ارتباط المستقبل بالمورفين مثل ارتباط قطعتي أحجية.

السلسلة. وهذا هو تكوين الببتيد نفسه المسؤول عن بنية البروتينات مثل الحرير (انظر الفصل 6). ولكن في حين أن جزيء الحرير يحتوي على مئات أو حتى آلاف الأحماض الأمينية، فإن الإندورفين يتكون من عدد قليل فقط. اثنان من الإندورفينات المعزولة هما البنتيببتيدات، مما يعني أنها تحتوي على خمسة أحماض أمينية. كل من الإندورفين خماسي الببتيدات والمورفين لهما صيغة بنائية مشتركة: يحتوي كلاهما على وحدة بيتا فينيل إيثيل أمين، وهي البنية الكيميائية نفسها التي يُعتقد أنها مسؤولة عن التأثير في الدماغ في عقار إل إس دي، وفي المسكالين، وفي بعض الجزيئات الأخرى المسببة للهلوسة.



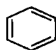
وحدة بيتا فينيل إيثيل أمين

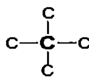
ومع أن جزيئات الإندورفين خماسي الببتيد بيتا تختلف تمامًا عن جزيء المورفين، فيُرى أن هذا التشابه البنيوي يفسر موقع الارتباط المشترك في الدماغ.



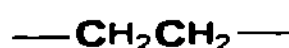
تركيب المورفين، يُظهر وحدة الإندورفين خماسي الببتيد بيتا

لكن المورفين ونظائره يختلفون في نشاطهم البيولوجي عن المهلوسات الأخرى من حيث إن لهم أيضًا تأثيرات مخدرة، مثل تسكين الألم، وتحفيز النوم، ومكونات مسببة للإدمان. يُعتقد أن ذلك يرجع إلى مجموعة أخرى موجودة في الصيغة البنائية للآتي، على الترتيب: (1) حلقة فينيل أو حلقة عطرية، (2) ذرة كربون رباعية؛ أي أن ذرة الكربون مرتبطة مباشرة بأربع ذرات كربون أخرى، (3) مجموعة CH2-CH2 مرتبطة بـ (4) ذرة نيتروجين (N) الثلاثية (ذرة نيتروجين مرتبطة مباشرة بثلاث ذرات كربون أخرى).

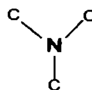

(1)



(2)



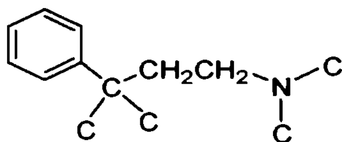
(3)



(4)

(1) The benzene ring, (2) quaternary carbon atom (bolded), (3) the two CH_2 groups with the carbons bolded, and (4) the tertiary nitrogen atom (bolded)

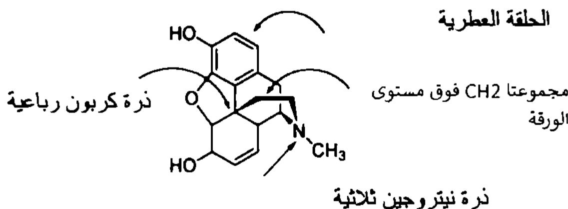
عندما تجتمع هذه المكونات معًا، المعروفة باسم قاعدة المورفين، تبدو كما يلي:



Essential components for the morphine rule

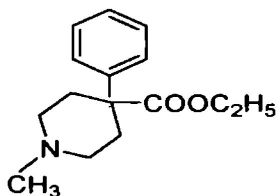
العناصر الأساسية لقاعدة المورفين

يمكنك أن ترى في الرسوم البيانية للمورفين أن جميع المتطلبات الأربعة موجودة، كما هي موجودة أيضًا في الكودين والهيروين.



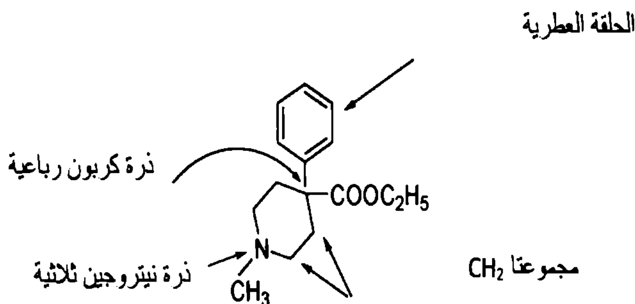
الصيغة البنائية للمورفين، توضيح مدى ملائمة قاعدة المورفين لنشاطه البيولوجي

اكتشاف أن هذا الجزء من الجزيء قد يكون مسؤولًا عن النشاط المخدر هو مثال آخر على مواهب الاكتشاف السرنديبية في الكيمياء. لاحظ المحققون الذين حقنوا مركبًا من صنع الإنسان، الميبريدين، في الفئران أنه جعلهم يمسكون ذيولهم بطريقة معينة، وهو تأثير شوهد سابقًا مع المورفين.



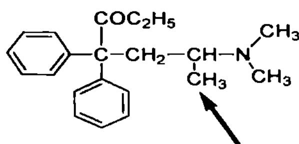
Meperidine

لم يكن جزيء الميبريدين مشابهًا على وجه التحديد لجزيء المورفين. الشيء المشترك بين الميبريدين والمورفين هو ما يلي: (1) حلقة عطرية أو حلقة فينيل متصلة بـ(2) ذرة كربون رباعية، تليها (3) مجموعة CH2 - CH2 ثم ذرة نيتروجين ثلاثية؛ بعبارة أخرى، الترتيب نفسه الذي أصبح يعرف باسم قاعدة المورفين.



توضيح قاعدة المورفين لبنية الميبريدين أو ديميرول

أظهر اختبار الميبريدين أن له خصائص مسكنة. يعرف عادة بالاسم التجاري ديميرول، ويُستخدم في كثير من الأحيان بدلًا من المورفين لأنه على الرغم من أنه أقل فعالية، فمن غير المرجح أن يسبب الغثيان. لكنه لا يزال يسبب حالة من الإدمان. يأتي مسكن اصطناعي آخر وقوي قوة بالغة، وهو الميثادون، مثل الهيروين والمورفين، يُهدئ الجهاز العصبي ولكنه لا يسبب النعاس أو حالة الإيفوريا التي تُسببها المواد الأفيونية. لا تتطابق بنية الميثادون تطابقًا كاملًا مع متطلبات قاعدة المورفين. توجد مجموعة CH3 مرتبطة بذرة الكربون الثانية من مجموعة -CH2-CH2-. يُفترض أن هذا التغيير الطفيف جدًا في البنية هو المسؤول عن الاختلاف في النشاط البيولوجي.



The structure of methadone. The arrow shows the position of the CH_3 group, the only deviation from the morphine rule but enough to change the physiological effect.

الصيغة البنائية للميثادون. يُظهر السهم موضع مجموعة CH3، وهو الانحراف الوحيد عن قاعدة المورفين ولكنه كافٍ لتغيير التأثير الفسيولوجي.

ومع ذلك، لا يزال الميثادون يسبب الإدمان. يمكن الانتقال من الاعتماد على الهيروين إلى الاعتماد على الميثادون، ولكن ما إذا كانت هذه طريقة معقولة للتعامل مع المشكلات المرتبطة بإدمان الهيروين لا يزال الأمر موضع نقاش.

النيكوتين، وهو ثاني قلويد مرتبط بحروب الأفيون، لم يكن معروفًا في أوروبا عندما وصل كريستوفر كولومبوس إلى العالم الجديد. هناك رأى رجالًا ونساء «يشربون» أو يستنشقون دخان لفات من أوراق الشجر المحترقة ويدخلونها إلى أنوفهم. بدا التدخين والاستنشاق (استنشاق مسحوق من خلال فتحتي الأنف) ومضغ أوراق نباتات التبغ، وهي أنواع من جنس *نيكوتيانا*، منتشرة على نطاق واسع بين هنود أمريكا الجنوبية والمكسيك ومنطقة البحر الكاريبي. ظلَّ استخدام التبغ استخدامًا احتفاليًا بصورة أساسية. قيل إن دخان التبغ الذي يمتص من الغليون أو من الأوراق الملفوفة، أو يُستنشق مباشرة من أوراق الشجر المتناثرة على الجمر المتوهج، يسبب غيبوبة أو هلوسة للقائمين بهذا الفعل. وهذا يعني أن التبغ لديهم يحتوي على تركيزات أعلى بكثير من المكونات النشطة من تلك الموجودة في الأنواع *نيكوتيانا تاباكوم* التي أدخلت إلى أوروبا وبقية العالم. أمَّا التبغ الذي أشار إليه كولومبوس فهو على الأرجح تبغ *نيكوتيانا روستيكا*، وهو تبغ حضارة المايا، الذي يُعرف بأنه صنف أكثر فعالية.

انتشر استخدام التبغ انتشارًا سريعًا في جميع أنحاء أوروبا، وسرعان ما تبعته زراعة التبغ. كان جان نيكوت، السفير الفرنسي في البرتغال الذي يُخلد اسمه في الاسم النباتي للنبات واسم القلويد، من عشاق التبغ، كما كان حال شخصيات بارزة أخرى في القرن السادس عشر: السير والتر رالي في إنجلترا وكاترين دي. ميديشي، ملكة فرنسا.



An engraving from Brazil (around 1593) is the first copperplate showing smoking in South America. A plant is smoked through a long tube at this Tupi Indian feast. (Courtesy of John G. Lord Collection)

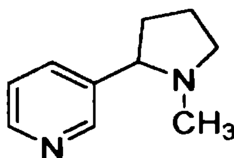
نقش من البرازيل (حوالي 1593) هو أول لوح نحاسي يظهر التدخين في أمريكا الجنوبية. يُدخن النبات من خلال أنبوب طويل في وليمة توبي الهندية. (بإذن من مجموعة جون جي لورد)

ومع ذلك، فإن التدخين لم يلقَ موافقة عالمية. حظرت المراسيم البابوية استخدام التبغ في الكنيسة، ويقال إن الملك جيمس الأول ملك إنجلترا عمل على تأليف كتيب في عام 1604 يشجب فيه «العادات المقيتة للعين، والمكروهة للأنف، والمضرة بالدماغ، والمؤذية للرئتين».

في عام 1634، حُظِرَ التدخين في روسيا. وجاءت العقوبة على خرق هذا القانون قاسية قسوة بالغة: قطع الشفاه، أو الجلد، أو الإخصاء، أو النفي. بعد حوالي خمسين عامًا، رُفِعَ الحظر عندما عمل القيصر بطرس الأكبر، وهو مدخن، على الترويج لاستخدام التبغ. كما أخذ البحارة الإسبان والبرتغاليون الفلفل الحار المحتوي على قلويدات الكابسيسين حول العالم، فقد أدخلوا التبغ وقلويدات النيكوتين إلى كل ميناء زاروه. بحلول القرن السابع عشر، انتشر تدخين التبغ على نطاق واسع في جميع أنحاء الشرق، ولم تنجح العقوبات الصارمة، بما في ذلك التعذيب، في وقف شعبيته. على الرغم من أن الكثير من البلدان، بما في ذلك تركيا والهند وبلاد فارس، وصفت في بعض الأحيان العلاج النهائي لإدمان التبغ -عقوبة الإعدام- فما زال التدخين منتشرًا على نطاق واسع في هذه الأماكن اليوم كما هو الحال في أي مكان آخر.

منذ البداية، لم تتمكن الكمية المعروضة من التبغ المزروع في أوروبا من تلبية الطلب. وسرعان ما بدأت المستعمرات الإسبانية والإنجليزية في العالم الجديد في زراعة التبغ من أجل التصدير. تطلبت زراعة التبغ عمالة مكثفة؛ صار لا بد من إبقاء الأعشاب الضارة تحت السيطرة، وقص نباتات التبغ إلى الارتفاع المناسب، وتقليم السرطانات، وإزالة الآفات، وحصاد الأوراق يدويًّا وإعدادها للتجفيف. هذا العمل، الذي يقوم به العبيد في المزارع بصورة أساسية، يعني أن النيكوتين ينضم إلى الجلوكوز والسليلوز والنيلي بصفته جزيئًا آخر يشارك في العبودية في العالم الجديد.

يوجد ما لا يقل عن عشرة قلويدات في التبغ، وأهمها النيكوتين. يتراوح محتوى النيكوتين في أوراق التبغ من 2 في المئة إلى 8 في المئة، اعتمادًا على طريقة الزراعة والمناخ والتربة والعملية المستخدمة في معالجة الأوراق. في الجرعات الصغيرة جدًا، يعمل النيكوتين منبهًا للجهاز العصبي المركزي والقلب، ولكن في النهاية، أو بعد تناول جرعات أكبر، يعمل مثبطًا. يفسَّر هذا التناقض الواضح من خلال قدرة النيكوتين على تقليد دور الناقل العصبي.



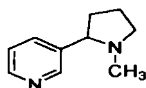
The structure of nicotine

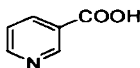
يشكل جزيء النيكوتين جسرًا عند الوصل بين الخلايا العصبية، مما يزيد في البداية من انتقال النبضات العصبية. لكن هذا الارتباط لا يُزال بسهولة بين النبضات، وبالتالي يصبح موقع الإرسال مسدودًا في نهاية المطاف. يفقد التأثير المحفز للنيكوتين، ويتباطأ نشاط العضلات، وبخاصة القلب. وبالتالي تتباطأ الدورة الدموية، ويُوصَّل الأكسجين إلى الجسم والدماغ بمعدل أقل، مما يؤدي إلى خلق حالة من التأثير المهدئ العام. هذا ينطبق على الذين يتعاطون النيكوتين الذين يتحدثون عن حاجتهم إلى لفافة تبغ لتهدئة أعصابهم، لكن النيكوتين يؤدي في الواقع إلى نتائج عكسية في المواقف التي تتطلب عقلًا يقظًا.

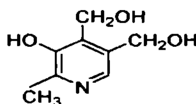
بالإضافة إلى ذلك، يظل مستخدمو التبغ لفترة طويلة أكثر عرضة للإصابة بالعدوى مثل الغرغرينا التي تزدهر في ظروف انخفاض الأكسجين بسبب ضعف الدورة الدموية.

في الجرعات الكبيرة، يتحول النيكوتين إلى سمّ قاتل. امتصاص جرعة صغيرة تصل إلى خمسين مللي جرامًا يمكن أن يقتل شخصًا بالغًا في دقائق معدودة. لكن سُميته لا تعتمد فقط على الكمية، بل أيضًا على كيفية دخول النيكوتين إلى الجسم. يُمسي النيكوتين أقوى بنحو ألف مرة عند امتصاصه عبر الجلد مقارنة بما يجري تناوله عن طريق الفم. من المفترض أن تعمل أحماض المعدة على تكسير جزيء النيكوتين إلى حد ما. عند التدخين، يتأكسد الكثير من المحتوى القلويدي في التبغ إلى منتجات أقل سمية بسبب ارتفاع درجة حرارة الاحتراق. وهذا لا يعني أن تدخين التبغ غير ضار، ولكن إذا لم تحدث هذه الأكسدة لمعظم النيكوتين وقلويدات التبغ الأخرى، فإن التدخين سيغدو قاتلًا دائمًا إذا ما استُخدم عدد قليل من لفائف التبغ. وكما هو الحال، فإن النيكوتين الذي يبقى في دخان التبغ خطير تحديدًا، حيث يمتص مباشرة من الرئتين إلى مجرى الدم.

النيكوتين هو مبيد حشري طبيعي قوي. أنتجت ملايين الباوندات من النيكوتين لاستخدامها مبيدًا حشريًا في الأربعينيات والخمسينيات من القرن الماضي قبل تطوير المبيدات الحشرية الاصطناعية. ومع ذلك فإن حمض النيكوتينيك والبيريدوكسين، اللذين لهما بنية مماثلة للنيكوتين، ليسا من السموم. بل في الواقع مفيدان، فهما من فيتامينات ب، وهي عناصر غذائية أساسية لصحتنا وبقائنا. مرة أخرى، يحدث تغيير ضئيل في التركيب الكيميائي فرقًا هائلًا في الخصائص.







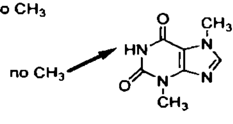
Nicotine *Nicotinic acid (niacin)* *Pyridoxine (vitamin B_6)*

نيكوتين *حمض النيكوتينيك (نياسين)* *والبيريدوكسين (فيتامين ب6)*

عند البشر، يؤدي النقص الغذائي لحمض *النيكوتينيك* (المعروف أيضًا باسم النياسين) إلى مرض البلاجرا، الذي يتميز بمجموعة من ثلاثة أعراض: التهاب الجلد، والإسهال، والخرف. وهو منتشر عندما يتكون النظام الغذائي بالكامل تقريبًا من الذرة وكان يُعتقد في الأصل أنه مرض معدٍ، وربما شكل من أشكال الجذام. حتى أدرك أن مرض البلاجرا ناجم عن نقص النياسين، أودع الكثير من ضحاياه في مصحات الأمراض العقلية. ظل مرض البلاجرا شائعًا في جنوب الولايات المتحدة في أوائل القرن العشرين، ولكن الجهود التي بذلها جوزيف جولدبرجر، وهو طبيب في خدمة الصحة العامة الأمريكية، أقنعت المجتمع الطبي بأنه كان فعليًّا مرض نقص. تغير اسم حمض *النيكوتينيك* إلى *النياسين* عندما لم يرغب الخبازون التجاريون في أن يحمل خبزهم الأبيض الغني بالفيتامينات اسمًا يبدو مشابهًا جدًّا للنيكوتين.

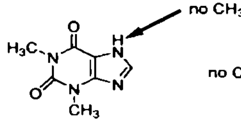
البنية المحفزة للكافيين

الكافيين، وهو القلويد الثالث المرتبط بحروب الأفيون، هو أيضًا عقار ذو تأثير نفسيّ، ولكنه متاح مجانًا في كل مكان تقريبًا في العالم وغير خاضع للتنظيم إلى حد أن المشروبات المحملة بالكافيين الإضافي يجري تصنيعها والإعلان عنها على هذا النحو. تُعرض الصيغ البنائية للكافيين وأشباه القلويات من الثيوفيلين والثيوبرومين ذات الصلة الوثيقة فيما يلي.



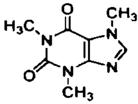
Theobromine

الثيوبرومين



Theophylline

الثيوفيلين


Caffeine

كافيين

الثيوفيلين، الموجود في الشاي، والثيوبرومين، الموجود في الكاكاو، يختلفان عن الكافيين فقط في عدد مجموعات CH3 المرتبطة بحلقات البنية؛ يحتوي كل من الكافيين على ثلاثة والثيوفيلين والثيوبرومين على اثنين منها ولكن في مواقع مختلفة قليلًا. هذا التغيير الطفيف إلى حد لا يُذكر في الصيغة البنائية يفسر التأثير الفسيولوجي المختلف لهذه الجزيئات. يوجد الكافيين بشكل طبيعي في حبوب القهوة، وأوراق الشاي، وبدرجة أقل في قرون الكاكاو، وجوز الكولا، ومصادر نباتية أخرى تأتي بصورة رئيسة من أمريكا الجنوبية، مثل أوراق المتة، وبذور الجوارانا، ولحاء اليوكو.

الكافيين هو منبه عصبي مركزي قوي وواحد من أكثر الأدوية التي خضعت للدراسة في العالم. أحدث النظريات الكثيرة التي جرى اقتراحها على مر السنين لشرح آثاره في فسيولوجيا الإنسان هي أن الكافيين يمنع تأثير الأدينوزين في الدماغ وفي أجزاء أخرى من الجسم. الأدينوزين هو مُعدِّل عصبي، وهو جزيء يقلل من معدل تحفيز العصب التلقائي وبالتالي يبطئ إرسال الناقلات العصبية الأخرى. وبالتالي يمكن أن يحفز على النوم. لا يمكن القول إنَّ الكافيين يوقظنا، على الرغم من أنه قد يبدو كذلك؛ تأثيره هو في الواقع إعاقة الدور الطبيعي للأدينوزين في جعلنا نشعر بالنعاس. عندما يشغل الكافيين مستقبلات الأدينوزين في أجزاء أخرى من الجسم، فإننا نختبر ضجيج الكافيين: يزداد معدل ضربات القلب، وتنقبض بعض الأوعية الدموية بينما تنفتح أخرى، وتنقبض بعض العضلات بسهولة أكبر.

يستخدم الكافيين طبيًا لتخفيف الربو ومنعه، ولعلاج الصداع النصفي، ولزيادة ضغط الدم، وهو مدر للبول، ولمجموعة من الحالات الأخرى. غالبًا ما يُعثر عليه في الأدوية التي لا تُصرف من دون وصفة طبية مقررة وكذلك في الأدوية المقررة بوصفة طبية. بحثت الكثير من الدراسات عن الآثار الجانبية السلبية المحتملة للكافيين، بما في ذلك علاقته بأشكال مختلفة من السرطان وأمراض القلب وهشاشة العظام والقرحة وأمراض الكبد ومتلازمة ما قبل الحيض وأمراض الكلى وحركة الحيوانات المنوية والخصوبة ونمو الجنين، وفرط النشاط والأداء الرياضي والخلل العقلي. وحتى الآن لا

يوجد دليل واضح على أن أيًا من هذه الأسباب يمكن ربطه بكميات معتدلة من استهلاك الكافيين.

لكن الكافيين سام؛ تقدر الجرعة المميتة بحوالي عشرة جرامات تناولها يتم عن طريق الفم لشخص بالغ متوسط الحجم. وبما أن محتوى الكافيين في فنجان القهوة يتراوح بين 80 إلى 180 مللي جرام، اعتمادًا على طريقة التحضير، فسيتعين عليك شرب ما يقرب من 55 كوبًا إلى 125 كوبًا، كلها في وقت واحد، لكي تتلقى بذلك جرعة مميتة قاتلة. من الواضح أن التسمم بالكافيين بهذه الطريقة أمر مستبعد إلى حدٍ كبير، إن لم يكن مستحيلًا تمامًا. في حالة الوزن الجاف، تحتوي أوراق الشاي على ضعف كمية الكافيين الموجودة في حبوب القهوة، ولكن نظرًا إلى استخدام كمية أقل من الشاي في كل كوب واستخلاص كمية أقل من الكافيين بالطريقة العادية لصنع الشاي، فإن كوب الشاي يحتوي في النهاية على حوالي نصف الكافيين الموجود في كوب من القهوة.

يحتوي الشاي أيضًا على كميات صغيرة من الثيوفيلين، وهو جزيء له تأثير مماثل للكافيين. يستخدم الثيوفيلين على نطاق واسع اليوم في علاج الربو. وهو موسع قصبي أفضل، أو مرخي لأنسجة الشعب الهوائية، من الكافيين، في حين أن تأثيره أقل في الجهاز العصبي المركزي. تحتوي حبة الكاكاو، مصدر الكاكاو والشوكولاتة، على 1 في المئة إلى 2 في المئة من الثيوبرومين. يحفز هذا الجزيء القلويدي الجهاز العصبي المركزي بدرجة أقل حتى من الثيوفيلين، ولكن بما أن كمية الثيوبرومين في منتجات الكاكاو أعلى بسبعة أضعاف أو ثمانية

أضعاف من تركيز الكافيين، فإن التأثير لا يزال واضحًا. مثل المورفين والنيكوتين، يُصنف الكافيين (والثيوفيلين والثيوبرومين) على أنَّه من المركبات المسببة لحالة الإدمان؛ تشمل أعراض الانسحاب الصداع، والتعب، والنعاس، وحتى -عندما يصبح تناول الكافيين مفرطًا- الغثيان والقيء. الخبر السار هو أن الكافيين يُغادر الجسم بسرعة نسبيّة، لمدة أسبوع على الأكثر، على الرغم من أن قلة قليلة منا من لديها نية للإقلاع عن الإدمان المفضل لدى العالم.

ربما كانت النباتات التي تحتوي على الكافيين معروفة لدى إنسان في فترة ما قبل التاريخ. من المؤكد تقريبًا أنها استُخدمت في العصور القديمة، لكن ليس من الممكن معرفة أيهم سبق الآخر: هل الشاي أو الكاكاو أو القهوة. تقول الأسطورة إن شين نونغ، الإمبراطور الأسطوري الأول للصين، أدخل ممارسة غلي مياه الشرب في بلاطه بصفته إجراء وقائيًّا ضد المرض. وفي أحد الأيام، لاحظ أن أوراق شجيرة قريبة قد سقطت في الماء المغلي الذي كان خدمه يعدونه. ومن المفترض أن هذا التسريب في المشروب المنقوع هو الأولى لما يجب أن يكون الآن تريليونات من أكواب الشاي التي استمتع بها منذ خمسة آلاف عام. وعلى الرغم من أن الأساطير تشير إلى شرب الشاي في العصور السابقة، فإن الأدب الصيني لم يذكر الشاي أو قدرته على «جعل المرء يفكر بشكل أفضل»، حتى القرن الثاني قبل الميلاد. تشير القصص الصينية التقليدية الأخرى إلى أنه ربما أُدخل الشاي من شمال الهند أو من جنوب شرق آسيا. أينما كان المنشأ، لطالما ظل الشاي جزءًا من الحياة الصينية لعدة قرون. وفي الكثير من البلدان الآسيوية، وبخاصة اليابان، أصبح الشاي أيضًا جزءًا مهمًا من الثقافة الوطنية.

أمَّا البرتغاليون، الذين لديهم مركز تجاري في ماكاو، فهم أول الأوروبيين الذين أقاموا تجارة محدودة مع الصين وأصبحوا يشربون الشاي. لكن الهولنديين هم الذين جلبوا أول حزمة من الشاي إلى أوروبا في بداية القرن السابع عشر. بيع الشاي في البداية باهظ الثمن، ولا يمكن لأحد الحصول عليه إلا لمن هم من طبقة الأثرياء. ومع زيادة حجم الشاي المستورد والتخفيض التدريجي لرسوم الاستيراد، قل السعر ببطء. بحلول أوائل القرن الثامن عشر، صار الشاي يحل محل الجعة وصار المشروب الوطني في إنجلترا، وصار المسرح ممهدًا للدور الذي سيلعبه الشاي (مع الكافيين) في حروب الأفيون وفتح التجارة مع الصين.

غالبًا ما يُنظر إلى الشاي على أنه مسهمٌ رئيس في الثورة الأمريكية، على الرغم من أن دوره رمزي أكثر منه حقيقيّ. بحلول عام 1763، نجح البريطانيون في طرد الفرنسيين من أمريكا الشمالية، ودخلوا في مفاوضات على معاهدات مع السكان الأصليين، والسيطرة على توسيع المستوطنات، وتنظيم التجارة. أدى استياء المستعمرين من سيطرة البرلمان البريطاني على ما رأوه شؤونًا محلية إلى التهديد بالتحول من حالة الانزعاج إلى حالة التمرد. صار الأمر المزعج ولا سيما ارتفاع مستوى الضرائب على التجارة الداخلية والخارجية. على الرغم من سحب قانون الطوابع لعامي 1764 و1765، الذي جمع الأموال من خلال اشتراط طوابع الإيرادات لكل نوع من المستندات تقريبًا، وعلى الرغم من إلغاء الرسوم الجمركية على السكر والورق والطلاء والزجاج، فإن الشاي ظل خاضعًا لقانون الطوابع. الرسوم

الجمركية الثقيلة. في 16 ديسمبر 1773، أُلقيت شحنة من الشاي في ميناء بوسطن على يد مجموعة من المواطنين الغاضبين. جاء الاحتجاج في واقع الأمر حول «فرض ضرائب من دون تمثيل» وليس حول الشاي، ولكن حزب شاي بوسطن، كما كان يسمى، يُعد في بعض الأحيان بداية الثورة الأمريكية.

تشير الاكتشافات الأثرية إلى أن حبة الكاكاو كانت المصدر الأول للكافيين في العالم الجديد. استخدم في المكسيك منذ عام 1500 قبل الميلاد. كما عملت حضارات المايا والتولتيك اللاحقة على زراعة هذا المصدر للقلويد من أمريكا الوسطى. أمّا كولومبوس، فعند عودته من رحلته الرابعة إلى العالم الجديد عام 1502، قدّم قرون الكاكاو إلى الملك فرديناند ملك إسبانيا. ولكن لم يكن الأمر كذلك حتى عام 1528، عندما شرب هيرنان كورتيس المشروب المر للأزتيك في بلاط مونتيزوما الثاني، حيث أدرك الأوروبيون التأثير المحفز لقلويداته. أشار كورتيس إلى الكاكاو من خلال الوصف الأزتكي «شراب الآلهة»، ومنه جاء اسم المادة القلويدية السائدة، الثيوبرومين، الموجودة في بذور (أو حبوب) القرون التي يبلغ طولها قدمًا من شجرة الكاكاو الاستوائية *ثيوبروما كاكو*. الأسماء مأخوذة من الكلمة اليونانية ثيوس، وتعني «إله»، وبروما، وتعني «طعام».

طوال بقية القرن السادس عشر، ظل شراب الشوكولاتة، كما أصبح يُسمى، حكرًا على الأثرياء والأرستقراطيين في إسبانيا، وانتشر في النهاية إلى إيطاليا وفرنسا وهولندا ثم إلى بقية أوروبا. وبالتالي فإن الكافيين الموجود في الكاكاو، على الرغم من وجوده بتركيزات أقل، يسبق استخدام الكافيين الأوروبي في الشاي أو القهوة.

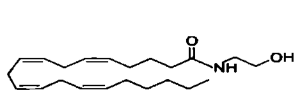
تحتوي الشوكولاتة على مركب آخر مثير للاهتمام، وهو الأناندامايد، الذي ثبت أنه يرتبط بالمستقبل نفسه في الدماغ مثل المركب الفينولي رباعي هيدروكانابينول (THC)، وهو العنصر النشط في الماريجوانا، على الرغم من أن بنية الأناندامايد تختلف تمامًا عن بنية رباعي هيدروكانابينول.

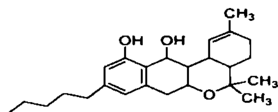


Cacao pods from the Theobroma cacao *tree.* (Photo by Peter Le Couteur)

قرون الكاكاو من شجرة الكاكاو ثيوبرما. (تصوير بيتر لو كوتور)

إذا كان الأناندامايد هو المسؤول عن جاذبية الشوكولاتة التي يدعيها الكثير من الناس، يمكننا أن نطرح سؤالًا استفزازيًا: ما الذي نريد حظره، هل جزيء رباعي هيدروكانابينول (THC) أو تأثيره المغير للمزاج؟ إذا كان هذا هو التأثير المغير للمزاج، فهل يجب أن نفكر في جعل الشوكولاتة غير قانونية؟





Anandamide (left) from chocolate and THC (right) from marijuana are structurally different.

يختلف أناندميد (عن اليسار) من الشوكولاتة وTHC (عن اليمين)
من الماريجوانا من الناحية البنيوية.

أُدخل الكافيين إلى أوروبا من خلال الشوكولاتة. وبعد مرور قرن على الأقل، وصل مشروب أكثر تركيزًا من القلويدات على شكل قهوة، ولكن بحلول ذلك الوقت كانت القهوة تُستخدم في الشرق الأوسط لمئات السنين. أقدم سجل باقٍ لشرب القهوة هو من الرازي، وهو طبيب عربي من القرن العاشر. مما لا شك فيه أن القهوة ظلت معروفة قبل هذا الوقت بوقت طويل، كما تشير الأسطورة الإثيوبية عن راعي الماعز كالدي. أصبحت ماعز كالدي، وهي تقضم أوراق وثمار شجرة لم يلاحظها من قبل، سريعة الحركة وانخرطت في الرقص على أرجلها الخلفية. قرر كالدي تذوق التوت الأحمر الزاهي بنفسه ووجد التأثيرات مبهجة مثل عنزته. أخذ عينة إلى رجل دين إسلامي محلي، الذي لم يوافق على استخدامها، وألقى التوت في النار. خرجت رائحة رائعة من النيران. استخرجت الحبوب المحمصة من الجمر واستخدمت لصنع أول فنجان من القهوة. على الرغم من أنها قصة جميلة، فإن الأدلة قليلة حول أن ماعز كالدي كانت المكتشفة الحقيقية للكافيين من شجرة القهوة العربية، ولكن ربما نتجت القهوة في مكان ما في مرتفعات إثيوبيا وانتشرت عبر شمال شرق إفريقيا وإلى

شبه الجزيرة العربية. لم يكن تناول الكافيين في هيئة مشروب القهوة مقبولًا دائمًا، بل إنه حُظِرَ في بعض الأحيان؛ ومع ذلك، بحلول نهاية القرن الخامس عشر، كان الحجاج المسلمون قد حملوها إلى جميع أنحاء العالم الإسلامي.

تبع نمط مماثل إدخال القهوة إلى أوروبا خلال القرن السابع عشر. وفي نهاية المطاف، نجح إغراء الكافيين في التغلب على التخوفات الأوَّلية لمسؤولي الكنيسة والحكومة وكذلك الأطباء. تُباع القهوة في شوارع إيطاليا، وفي مقاهي البندقية وفيينا، وفي باريس وأمستردام، وفي ألمانيا والدول الإسكندنافية، ويُنسب إلى القهوة أنها جلبت قدرًا أكبر من الرصانة لسكان أوروبا. وإلى حد ما، حلت محل النبيذ في جنوب أوروبا والجعة في الشمال. لم يعد العمال يستهلكون الجعة على الإفطار. وبحلول عام 1700، وُجِدَ أكثر من ألفي مقهى في لندن؛ يشرف على رعايتهم رجال، وأصبح الكثير منها مرتبطًا بدين أو تجارة أو مهنة معينة. اجتمع البحارة والتجار في مقهى إدوارد لويدز للاطلاع على قوائم الشحن، وهو النشاط الذي أدى في النهاية إلى ضمان الرحلات التجارية وتأسيس شركة التأمين الشهيرة لويدز لندن. من المفترض أن الكثير من البنوك والصحف والمجلات بالإضافة إلى البورصة قد بدأت حياتها في مقاهي لندن.

لعبت زراعة البن دورًا هائلًا في تنمية مناطق العالم الجديد، وبخاصة البرازيل وبلدان أمريكا الوسطى. زرعت أشجار البن لأول مرة في هايتي في عام 1734. وبعد مرور خمسين عامًا، كان نصف إنتاج القهوة في العالم مستمدًا من هذا المصدر. غالبًا ما تُعزى

الظروف السياسية والاقتصادية للمجتمع الهايتي اليوم إلى انتفاضة العبيد الطويلة والدموية التي بدأت في عام 1791 بصفتها ثورة ضد الظروف المروعة المفروضة على العبيد الذين يكدحون لإنتاج القهوة والسكر. عندما تراجعت تجارة البن في جزر الهند الغربية، سارعت المزارع في بلدان أخرى -مثل البرازيل وكولومبيا ودول أمريكا الوسطى والهند وسيلان وجاوا وسومطرة- إلى نقل منتجاتها إلى السوق العالمية سريعة النمو.

وفي البرازيل على وجه الخصوص، أصبحت زراعة البن هي المهيمنة على الزراعة والتجارة. تحولت مساحات شاسعة من الأراضي التي أنشئت فعليًّا مع مزارع السكر إلى زراعة أشجار البن على أمل جني أرباح ضخمة من الحبوب. أمَّا في البرازيل، فتأخر إلغاء العبودية بسبب القوة السياسية لمزارعي البن، الذين كانوا بحاجة إلى عمالة رخيصة. لم يحظر استيراد العبيد الجدد إلى البرازيل إلا في عام 1850. منذ عام 1871، أُعلن جميع الأطفال المولودين للعبيد أحرارًا من الناحية القانونية، مما ضمن إلغاء العبودية في البلاد في نهاية المطاف، وإن تمَّ ذلك تدريجيًّا. في عام 1888، بعد سنوات من قرار الدول الغربية الأخرى، حُظِرت العبودية في البرازيل تمامًا.

غذت زراعة البن النمو الاقتصادي في البرازيل وذلك لأنه بُنيت السكك الحديدية من مناطق زراعة البن إلى الموانئ الرئيسة. عندما اختفت أعمال السخرة، ووصل آلاف المهاجرين الجدد، معظمهم من الإيطاليين الفقراء، للعمل في مزارع البن، مما أدى إلى تغيير الوجه العرقي والثقافي للبلاد.

أدى استمرار زراعة البن إلى تغيير جذري في بيئة البرازيل. كما تطهرت مساحات شاسعة من الأراضي، وقطعت الغابات الطبيعية أو حرقت، وتدمرت الحيوانات المحلية من أجل مزارع البن الشاسعة التي تغطي الريف. تنمو شجرة البن كزراعة أحادية، وسرعان ما تستنزف خصوبة التربة، مما يتطلب تطوير أراضٍ جديدة حيث تصبح الأراضي القديمة أقل إنتاجية. قد تستغرق الغابات الاستوائية المطيرة قرونًا لتتجدد؛ ومن دون تآكل الغطاء النباتي المناسب، يمكن أن يزيل ما هو قليل من التربة الموجودة، مما يؤدي فعليًا إلى تدمير أي أمل في تجديد الغابات. الاعتماد المفرط على محصول واحد يعني عمومًا أن السكان المحليين يتخلون عن زراعة المزيد من الضروريات التقليدية، مما يجعلهم أكثر عرضة لتقلبات الأسواق العالمية. كما أن الزراعة الأحادية معرضة بشدة للإصابة بالآفات المدمرة، مثل صدأ أوراق القهوة، التي يمكن أن تمحو المزرعة في غضون أيام.

حدث نمط مماثل من استغلال الناس والبيئة في معظم بلدان زراعة البن في أمريكا الوسطى. ابتداءً من العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر، أُجبر سكان المايا الأصليون في جواتيمالا والسلفادور ونيكاراجوا والمكسيك إجبارًا منهجيًّا على ترك أراضيهم مع انتشار زراعة القهوة الأحادية على سفوح التلال، مما وفر الظروف المثالية لزراعة شجيرة البن. كما توفر العمل عن طريق إكراه السكان النازحين؛ عمل الرجال والنساء والأطفال لساعات طويلة مقابل أجر زهيد، ولم يكن لديهم سوى القليل من الحقوق، عمالة قسرية. سيطرت النخبة -أصحاب مزارع البن- على ثروة الدولة ووجهت

سياسات الحكومة سعيًا وراء الربح، مما أثار عقودًا من المرارة بسبب عدم المساواة الاجتماعية. إن تاريخ الاضطرابات السياسية والثورات العنيفة في هذه البلدان هو جزئيًا إرث من رغبة الناس في تناول القهوة.

منذ بداية الأفيون بصفته عشبة طبية لها قيمة في شرق البحر الأبيض المتوسط، انتشر خشخاش الأفيون في جميع أنحاء أوروبا وآسيا. واليوم، يستمر الربح من الاتجار غير المشروع بالأفيون في تمويل الجريمة المنظمة والإرهاب الدولي. تدمرت صحة الملايين وسعادتهم، تدميرًا مباشرًا أو غير مباشر، بسبب قلويدات خشخاش الأفيون، ولكن في الوقت نفسه استفاد ملايين آخرين من التطبيق الطبي الحكيم لخصائصه المذهلة في تخفيف الألم.

كما أتى تجريم الأفيون وحظره بالتناوب، بالمثل شُجِّع على استخدام النيكوتين ومنعه في الوقت نفسه. نُظر إلى التبغ في السابق على أنه له آثار صحية مفيدة، وظل يُستخدم على أنه علاج لمختلف الأمراض، ولكن في أوقات وأماكن أخرى كان استخدام التبغ محظورًا بتصنيفه عادة خطيرة ومنحرفة. خلال النصف الأول من القرن العشرين، صار استخدام التبغ أكثر من مقبول، إذ رُوِّج له في الكثير من المجتمعات. كما وقع تأييد التدخين بصفته رمزًا للمرأة المتحررة والرجل المتطور. وفي بداية القرن الحادي والعشرين تأرجح البندول في الاتجاه الآخر، وفي الكثير من الأماكن يُعامل النيكوتين معاملة أشبه بمعاملة قلويدات الأفيون: وذلك لأنه تُفرض الرقابة عليه، وكذلك الضرائب، ويتعرض للحظر، والمنع.

وعلى النقيض من ذلك، فإن الكافيين -على الرغم من أنه كان خاضعًا للمراسيم والأوامر الدينية- أصبح الآن متاحًا بسهولة. لا توجد قوانين أو لوائح لمنع الأطفال أو المراهقين من استهلاك هذا القلويد. في الواقع، يحرص الآباء في الكثير من الثقافات بصورة روتينية على تزويد أطفالهم بالمشروبات التي تحتوي على الكافيين. تقيد الحكومات الآن استخدام قلويدات الأفيون للأغراض الطبية المنظمة، ولكنها تجني فوائد ضريبية كبيرة من بيع الكافيين والنيكوتين، مما يجعل من غير المرجح أن تتخلى عن مثل هذا المصدر المربح والموثوق للدخل وتحظر أيًا من هذين القلويدين.

إنَّما الرغبة بداخل البشر في الحصول على ثلاثة جزيئات -المورفين والنيكوتين والكافيين- هي التي بدأت الأحداث التي أدت إلى حروب الأفيون في منتصف القرن التاسع عشر. يُنظر الآن إلى نتائج هذه الصراعات على أنها بداية تحول النظام الاجتماعي الذي كان أساس الحياة الصينية لعدة قرون. لكن الدور الذي لعبته هذه المركبات في التاريخ لهو دور أكبر. لطالما للأفيون والتبغ والشاي والقهوة، المزروعين في أراضٍ بعيدة عن منشئهم، تأثير كبير في السكان المحليين وفي الأشخاص الذين عملوا على زراعة هذه النباتات. في كثير من الحالات تغيرت بيئة هذه المناطق تغيرًا كبيرًا حيث تدمرت النباتات المحلية لإفساح المجال أمام أفدنة من الخشخاش وحقول التبغ والتلال الخضراء المغطاة بشجيرات الشاي أو أشجار القهوة. حفزت الجزيئات القلويدية الموجودة في هذه النباتات التجارة، وولدت ثروات، وأججت الحروب، ودعمت الحكومات، ومولت الانقلابات، واستعبدت الملايين؛ كل ذلك بسبب رغبتنا الأبدية في الحصول على علاج كيميائي سريع.

الفصل الرابع عشر

حمض الأوليك

التفسير الكيميائي للشرط الأساسي لتجارة السلع هو أنَّ «الجزيئات التي تزايدت الرغبة للوصول إليها موزَّعة توزيعًا غير عادل في العالم.» كثير من المركبات التي درسناها -تلك الموجودة في التوابل، والشاي، والقهوة، والأفيون، والتبغ، والمطاط، والأصباغ- ينطبق عليها هذا التعريف، وكذلك حمض الأوليك، وهو جزيء موجود بكثرة في الزيت المستخرج من الفاكهة الخضراء الصغيرة من شجرة الزيتون. زيت الزيتون سلعة تجارية لها قيمتها المُقدَّرة منذ آلاف السنين، وأطلق عليه اسم شريان الحياة في المجتمعات التي نشأت حول البحر الأبيض المتوسط. حتى مع الصعود والسقوط للحضارات في المنطقة، ظلت شجرة الزيتون وزيتها الذهبي دائمًا أساس ازدهارهم وفي قلب ثقافتهم.

أسطورة الزيتون وحكاياته القديمة

تكثر الخرافات والأساطير التي ترد عن شجرة الزيتون وأصلها. يُزعم أن إيزيس، إلهة المصريين القدماء، قدمت الزيتون ومحصوله الوفير للبشرية. تنسب الأساطير الرومانية الفضل إلى هرقل في جلب شجرة الزيتون من شمال إفريقيا. من المفترض أن الإلهة الرومانية

مينيرفا علمت فن زراعة شجرة الزيتون واستخراج زيتها. تزعم أسطورة أخرى أن الزيتون يعود إلى الرجل الأول؛ يقال إن شجرة الزيتون الأولى نمت من الأرض على قبر آدم.

تحدث اليونانيون القدماء عن منافسة بين بوسيدون، إله البحر، وأثينا، إلهة السلام والحكمة. يصبح حينها المنتصر هو الذي ينتج الهدية الأكثر فائدة لشعب المدينة المبنية حديثًا في المنطقة المعروفة باسم أتيكا. ضرب بوسيدون صخرة مع رمحه وظهر الربيع. وبدأت المياه تتدفق، ومن النبع ظهر الحصان؛ وهو رمز القوة والسلطة ومساعد لا يقدر بثمن في الحرب. وعندما جاء دور أثينا، ألقت رمحها في الأرض، فتحول إلى شجرة زيتون، رمز السلام وموفر الطعام والوقود. نُظر إلى هبة أثينا على أنَّها الأعظم، وسميت المدينة الجديدة أثينا تكريمًا لها. ولا يزال الزيتون هدية إلهية. لا تزال شجرة الزيتون تنمو فوق الأكروبوليس في أثينا.

أمَّا الأصل الجغرافي لشجرة الزيتون فهو محل جدل. عثر على أدلة أحفورية لما يعتقد أنه سلف شجرة الزيتون الحديثة في كل من إيطاليا واليونان. تُنسب أول زراعة لأشجار الزيتون عادة إلى الأراضي المحيطة بشرق البحر الأبيض المتوسط، إلى مناطق مختلفة في البلدان الحالية مثل تركيا واليونان وسوريا وإيران والعراق. شجرة الزيتون، *أوليا أوربايا*، النوع الوحيد من عائلة *الزيتونات* الذي يزرع من أجل الحصول على ثماره، جاءت زراعته منذ ما لا يقل عن خمسة آلاف وربما سبعة آلاف سنة.

ومن الشواطئ الشرقية للبحر الأبيض المتوسط، انتشرت زراعة الزيتون إلى فلسطين ومنها إلى مصر. ترى بعض السلطات أن هذه الزراعة بدأت في جزيرة كريت، أي بحلول عام 2000 قبل الميلاد، وكانت صناعة مزدهرة تصدر النفط إلى اليونان وشمال إفريقيا وآسيا الصغرى. ومع نمو مستعمراتهم، أخذ اليونانيون شجرة الزيتون إلى إيطاليا وفرنسا وإسبانيا وتونس. وعندما توسعت الإمبراطورية الرومانية، انتشرت ثقافة الزيتون أيضًا في جميع أنحاء حوض البحر الأبيض المتوسط. لعدة قرون، كان زيت الزيتون السلعة التجارية الأكثر أهمية في المنطقة.



Olive tree atop the Acropolis in Athens. (Photo by Peter Le Couteur)

شجرة الزيتون فوق الأكروبوليس في أثينا. (تصوير بيتر لو كوتور)

فضلا عن الدور الواضح في توفير السعرات الحرارية القيمة في الغذاء، فإن زيت الزيتون استُخدم في الكثير من جوانب الحياة اليومية على أيدي الناس الذين يعيشون حول البحر الأبيض المتوسط. أضاءت

المصابيح المملوءة بزيت الزيتون الأمسيات المظلمة. كما استُخدم الزيت لأغراض التجميل. اعتاد كل من اليونانيين والرومان أن يفركوه على بشرتهم بعد الاستحمام. يرى الرياضيون أن التدليك بزيت الزيتون ضروري للحفاظ على مرونة العضلات. أضاف المصارعون طبقة من الرمل أو الغبار إلى طبقة الزيت للسماح لخصمهم بالسيطرة. تتضمن الطقوس بعد الأحداث الرياضية الاستحمام ووضع المزيد من زيت الزيتون، وتدليك الجلد لتهدئة الجروح وشفائها. استخدمت النساء زيت الزيتون للحفاظ على بشرتهن شابة وشعرهن لامعًا. كما اعتُقد أنه يساعد في منع الصلع وتعزيز القوة. المركبات المسؤولة عن العطر والنكهة في الأعشاب غالبًا ما تكون قابلة للذوبان في الزيوت، لذلك استخدم الغار والسمسم والورد والشمر والنعناع والعرعر والمريمية وأوراق وأزهار أخرى لنقع زيت الزيتون، وإنتاج مزيج من الروائح الغريبة ذات القيمة العالية. وصف الأطباء في اليونان زيت الزيتون أو بعض هذه الخلطات لعلاج الكثير من الأمراض، بما في ذلك الغثيان والكوليرا والقرحة والأرق. تظهر إشارات عدة إلى زيت الزيتون، سواء دخل إلى الجسم أو استعمل خارجه، في النصوص الطبية المصرية المبكرة. حتى أوراق شجرة الزيتون ظلت تُستخدم لخفض درجة حرارة الحمى وتوفير الراحة من مرض الملاريا. نعلم الآن أن هذه الأوراق تحتوي على حمض الساليسيليك، وهو الجزيء نفسه الموجود في شجرة الصفصاف ونبات إكليلية المروج الذي ابتكر منه فيليكس هوفمان الأسبرين في عام 1893.

تنعكس أهمية زيت الزيتون لسكان البحر الأبيض المتوسط في كتاباتهم وحتى قوانينهم. أطلق عليه الشاعر اليوناني هوميروس اسم «الذهب السائل». يعتقد الفيلسوف اليوناني ديموقريطوس أن اتباع نظام غذائي يتكون من العسل وزيت الزيتون يمكن أن يسمح للرجل بالعيش حتى سن المئة، وهي سن متقدمة إلى حدٍ كبير في وقت كان متوسط العمر المتوقع فيه يقترب من أربعين عامًا. في القرن السادس قبل الميلاد. قدم المشرع الأثيني سولون -الذي تضمنت أعماله الأخرى إنشاء مدونة قوانين إنسانية، والمحاكم الشعبية، وحق التجمع، ومجلس الشيوخ- قوانين لحماية أشجار الزيتون. في البستان يمكن إزالة شجرتين فقط كل عام. ويترتب على خرق هذا القانون عقوبات شديدة، بما في ذلك الإعدام.

يوجد أكثر من مئة إشارة في الكتاب المقدس إلى الزيتون وزيت الزيتون. على سبيل المثال: أعادت الحمامة غصن زيتون إلى نوح بعد الطوفان، وأُمر موسى بإعداد خليط مسحة من الطيب وزيت الزيتون، وصب السامري الصالح النبيذ وزيت الزيتون في جروح ضحية اللصوص، والعذارى الحكيمات يحتفظن بمصابيحهن مملوءة بزيت الزيتون. لدينا جبل الزيتون في القدس. كما إن الملك العبراني داود عين حراسًا لحماية بساتين الزيتون والمستودعات التي يمتلكها. وأشار المؤرخ الروماني بليني في القرن الأول الميلادي إلى أن إيطاليا تمتلك أفضل زيت زيتون في البحر الأبيض المتوسط. وأشاد فرجيل بالزيتون قائلًا: «وهكذا سيُزرع الزيتون الغنيُّ المحبوب للسَّلام».

بإدماج أسطورة الزيتون وحكاياته القديمة في الدين والأساطير والشعر وكذلك الحياة اليومية، ليس من المفاجئ أن تصبح شجرة الزيتون رمزًا للكثير من الثقافات. في اليونان القديمة، ربما لأن وفرة إمدادات زيت الزيتون للطعام والمصابيح تعني ضمان الرخاء الذي كان غائبًا في أوقات الحرب، أصبح الزيتون مرادفًا لأوقات السلام. ولا نزال نتحدث عن مد غصن الزيتون عندما نقصد محاولة صنع السلام. كما نُظر إلى الزيتون أيضًا بصفته رمزًا للنصر، ومُنِحَ الفائزون في الألعاب الأولمبية الأصلية إكليلًا من أوراق الزيتون بالإضافة إلى إمدادات من زيته. في كثير من الأحيان استُهدفت بساتين الزيتون على يد العدو في أثناء الحرب، وذلك لأن تدمير بساتين الزيتون التابعة للعدو لا يؤدي إلى القضاء على مصدر الغذاء الرئيس فقط، بل يتسبب أيضًا في إلحاق ضربة نفسية مدمرة. لطالما ظلت شجرة الزيتون تمثل الحكمة والتجديد أيضًا؛ أشجار الزيتون التي يبدو أنها دُمرت بالنيران أو القطع غالبًا ما تنبت براعم جديدة وتؤتي ثمارها في النهاية مرة أخرى.

وأخيرًا، لطالما مثلت الزيتونة مصدر القوة (جذع الزيتون استُعمل عصا لهرقل) والتضحية (يُفترض أن الصليب الذي صُلب عليه المسيح كان مصنوعًا من خشب الزيتون). في أوقات مختلفة وفي ثقافات مختلفة، ظل الزيتون يرمز إلى القوة والثروة والعذرية والخصوبة. كما استُخدم زيت الزيتون لعدة قرون لدهن الملوك والأباطرة والأساقفة عند تتويجهم أو رِساماتهم. شاول، أول ملك لإسرائيل، دُهنت جبهته بزيت الزيتون عند تتويجه. وبعد مئات السنين، على الجانب

الآخر من البحر الأبيض المتوسط، مُسِحَ جسد أول ملك للفرنجة، كلوفيس، بزيت الزيتون عند تتويجه، ليصبح لويس الأول. كما دهن أربعة وثلاثين ملكًا فرنسيًا آخر بالزيت من القارورة نفسها التي على هيئة كمثرى، حتى دُمرتْ خلال الثورة الفرنسية.

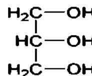
تتميز شجرة الزيتون بقوة تحملها الملحوظة. تحتاج إلى مناخ ذي شتاء بارد قصير لإنتاج الفاكهة وعدم وجود صقيع الربيع قاتل الأزهار. الصيف الطويل الحار والخريف الناعم يسمحان للفاكهة بالنضوج. يعمل البحر الأبيض المتوسط على تبريد ساحله الإفريقي وتدفئة شواطئه الشمالية، مما يجعل المنطقة مناسبة على نحوٍ مثالي لزراعة الزيتون. في الداخل، وبعيدًا عن التأثير المعتدل لمساحة كبيرة من الماء، لا ينمو الزيتون. يمكن لأشجار الزيتون أن تعيش في الأماكن التي يأتي فيها هطول الأمطار قليلًا إلى حد كبير. يخترق جذرها الرئيس الطويل عمقًا في الأرض للعثور على الماء، والأوراق ضيقة ولها ملمس جلدي متين ومرن مع جانب سفلي لامع غامض إلى حدٍ ما، وهي تكيفات تمنع فقدان الماء من خلال التبخر. يمكن للزيتون أن يتحمل فترات الجفاف ويمكن أن ينمو في التربة الصخرية وعلى المدرجات الحجرية. قد يؤدي الصقيع الشديد والعواصف الجليدية إلى قطع الأغصان وتشقق الجذوع، لكن الزيتون العنيد، حتى لو بدا أن البرد قد دمره، سيتجدد ويرسل سرطانات خضراء طازجة في الربيع التالي. فلا عجب أن الناس الذين كانوا يعتمدون على شجرة الزيتون منذ آلاف السنين جاءوا لتكريمها.

كيمياء زيت الزيتون

لطالما استُخلصت الزيوت من الكثير من النباتات: الجوز واللوز، والذرة، وبذور السمسم، وبذور الكتان، وبذور دوّار الشمس، وجوز الهند، وفول الصويا، والفول السوداني، وذلك على سبيل المثال لا الحصر. للزيوت -والدهون، التي تأتي من مصادر حيوانية عادة، وهي قريبة إلى حدٍ كبير من الناحية الكيميائية- لها قيمة كبيرة منذ زمن طويل في أغراض الغذاء والإضاءة والأغراض التجميلية والطبية. لكن لم يتحقق لأي زيت أو دهن آخر جزءًا كبيرًا من الثقافة والاقتصاد، أو غُرِسَ في قلوب الناس وعقولهم، أو كان أكثر أهمية لنمو الحضارة الغربية من الزيت المستخرج من ثمرة شجرة الزيتون.

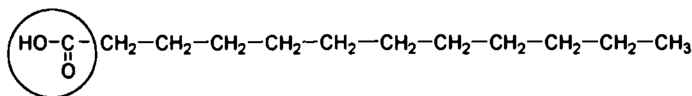
الفرق الكيميائي بين زيت الزيتون وأي زيت أو دهن آخر ضئيل. ولكن مرة أخرى، قد يؤثر الاختلاف الضئيل في جزء كبير من مسار التاريخ البشريّ. لا نرى أنه من قبيل التخمين أن نؤكد أنه من دون حمض الأوليك -الذي سمي على اسم الزيتون والجزيء الذي يميز زيت الزيتون عن الزيوت أو الدهون الأخرى- لكان من الممكن أن يتبع تطور الحضارة الغربية والديمقراطية مسارًا مختلفًا تمامًا.

تُعرف الدهون والزيوت باسم الدهون الثلاثية. وهي كلها مركبات تتكون من جزيء الجلسيرول (ويسمى أيضًا الجلسرين) وثلاثة جزيئات من الأحماض الدهنية.



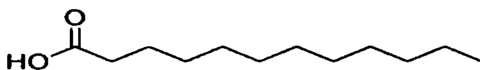
The glycerol molecule

الأحماض الدهنية هي سلاسل طويلة من ذرات الكربون مع مجموعة حمض، COOH أو (HOOC)، في أحد طرفيها:



جزيء حمض دهني مكون من 12 ذرة كربون. مجموعة الحمض، عن اليسار، مُشار حولها بدائرة.

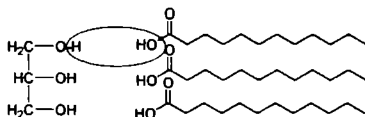
على الرغم من أنها جزيئات بسيطة، فإن الأحماض الدهنية تحتوي على عدد من ذرات الكربون، لذا غالبًا ما يأتي رسمها رسمًا متعرجًا أكثر وضوحًا، حيث يمثل كل تقاطع وكل نهاية خط ذرة كربون كما لا تظهر معظم ذرات الهيدروجين في الرسم.



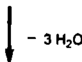
This fatty acid still has twelve carbon atoms.

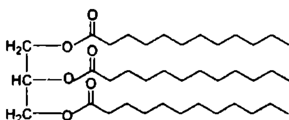
عندما يُتخلص من ثلاثة جزيئات من الماء (H_2O) بين ذرات الهيدروجين (H) من كل مجموعة من مجموعات الهيدروكسيل (OH) الثلاث على الجلسرين ومجموعة هيدروكسيل من مجموعة الحمض HOOC من ثلاثة جزيئات مختلفة من الأحماض الدهنية، يتشكّل جزيء ثلاثي الجليسريد. عملية التكثيف هذه -وهي انضمام الجزيئات من خلال فقدان الماء H_2O- تشبه عملية تكوين السكريات المتعددة (كما ورد الحديث عنها في الفصل الرابع).

الجليسرول وثلاثة أحماض دهنية



يجتمعون معا لتكوين





ثلاثي الجليسريد

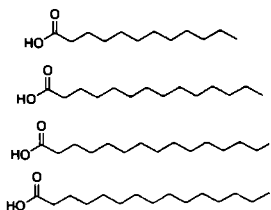
يحتوي جزيء الدهون الثلاثية الموضح في الرسم السابق على جزيئات الأحماض الدهنية الثلاثة نفسها. ولكن من الممكن أيضًا أن يوجد جزيئان فقط من جزيئات الأحماض الدهنية متماثلتان. أو يمكن أن تكون جميعها مختلفة. تحتوي الدهون والزيوت على النسبة نفسها من الجلسرين؛ وهي الأحماض الدهنية التي تختلف. في المثال السابق استخدمنا ما يعرف بالحمض الدهني المشبع. **مشبع** في هذه الحالة تعني مشبع بالهيدروجين؛ ولا يمكن إضافة المزيد من الهيدروجين إلى جزء الأحماض الدهنية من الجزيء، حيث لا توجد روابط مزدوجة بين كربون وكربون يمكن كسرها للسماح بربط المزيد من ذرات الهيدروجين. إذا وُجدت هذه الروابط في الأحماض الدهنية، فإنها تسمى غير مشبعة. بعض الأحماض الدهنية المشبعة الشائعة هي:

حمض اللوريك - اثنتا عشرة ذرة كربون

حمض الميريستيك - أربع عشرة ذرة كربون

حمض البالمتيك - ست عشرة ذرة كربون

حمض السيتريك – ثماني عشرة ذرة كربون



كما يتضح من أسمائهم ليس من الصعب تخمين أن المصدر الرئيس للحمض الدهني هو الشحم البقري وأن حمض البالمتيك هو أحد مكونات زيت النخيل.

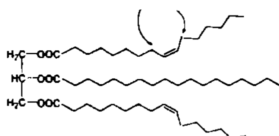
تحتوي جميع الأحماض الدهنية تقريبًا على عدد زوجي من ذرات الكربون. الأمثلة المذكورة فيما سبق هي الأحماض الدهنية الأكثر شيوعًا، لكن يوجد غيرها. تحتوي الزبدة على حمض البيوتريك (سمي بهذا الاسم من الزبدة[1])، مع أربع ذرات كربون فقط، وحمض الكابرويك، الموجود أيضًا في الزبدة والدهون من حليب الماعز -كلمة *كا*برفي اللاتينية تعني ماعز- يحتوي على ست ذرات كربون.

تحتوي الأحماض الدهنية غير المشبعة على رابطة مزدوجة واحدة على الأقل من ذرة كربون إلى ذرة كربون. إذا وُجدت واحدة فقط من هذه الروابط المزدوجة، يشار إلى الحمض على أنه أحادي غير مشبع؛

(1) ملحوظة المترجمة: الاسم الإنجليزي للزبدة هو Butter، والحمض هو حمض Butyric.

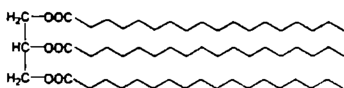
أمَّا إذا وجدت أكثر من رابطة مزدوجة يصبح حمض متعدد غير مشبع. تتكون الدهون الثلاثية المبينة فيما يلي من اثنين من الأحماض الدهنية الأحادية غير المشبعة وحمض دهني مشبع واحد. الروابط المزدوجة هي رابطة مقرونة، وذلك لأن ذرات الكربون في السلسلة الطويلة تقع على الجانب نفسه من الرابطة المزدوجة.

توجد ذرات الكربون على نفس الجانب من الرابطة المزدوجة.



ثلاثي الجلسريد من اثنين من الأحماض الدهنية الأحادية وغير المشبعة

هذا يُسبب التواءً في السلسلة، لذلك لا يُمكن أن تتجمع هذه الدهون الثلاثية معًا تجمعًا وثيقًا مثل الدهون الثلاثية المكونة من أحماض دهنية مشبعة (كما هو موضح في الرسم التالي).

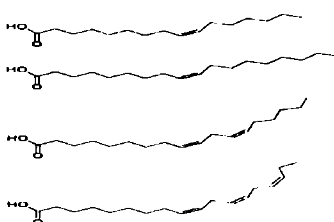


ثلاثي الجلسريد من ثلاثة من الأحماض الدهنية الأحادية وغير المشبعة

كلما زادت الروابط المزدوجة في الحمض الدهني، زاد انحناءه وقلت كفاءة ترتيبه وجمعه مع الأحماض الأخرى. الجمع الأقل كفاءة يتطلب طاقة أقل للتغلب على عوامل الجذب التي تربط الجزيئات معًا، وبالتالي يمكن فصلها عند درجات حرارة أقل. تميل الدهون

الثلاثية التي تحتوي على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية غير المشبعة إلى أن تتحول إلى سوائل في درجة حرارة الغرفة وليست إلى مواد صلبة. نسميها الزيوت. هم في أغلب الأحيان من أصل نباتي. تتطلب الأحماض الدهنية المشبعة، التي يمكن أن تتجمع بشكل وثيق معًا، المزيد من الطاقة لفصل الجزيئات الفردية، ومن ثم تذوب عند درجات حرارة أعلى. أمَّا الدهون الثلاثية من المصادر الحيوانية، التي تحتوي على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية المشبعة مقارنة بالزيوت، فتكون صلبة في درجة حرارة الغرفة؛ نحن نسميها الدهون.

بعض الأحماض الدهنية غير المشبعة الشائعة هي:



حمض البالميتوليك - ست عشرة ذرة كربون - أحادية غير مشبعة

حمض الأوليك - ثماني عشرة ذرة كربون - أحادية غير مشبعة

حمض اللينوليك - ثماني عشرة ذرة كربون - عديدة غير مشبعة

حمض اللينولينيك - ثماني عشرة ذرة كربون - عديدة غير مشبعة

حمض الأوليك الأحادي غير المشبع، المكون من ثمانية عشر ذرة كربون، هو الحمض الدهني الرئيس لزيت الزيتون. وعلى الرغم من وجود حمض الأوليك في زيوت أخرى وأيضًا في الكثير من الدهون، فإن زيت الزيتون هو المصدر الأكثر أهمية لهذا الحمض الدهني. يحتوي زيت الزيتون على نسبة أكبر من الأحماض الدهنية الأحادية غير المشبعة مقارنة بأي زيت آخر. تتراوح نسبة حمض الأوليك في زيت الزيتون من حوالي 55 في المئة إلى 85 في المئة، اعتمادًا على التنوع وظروف النمو، وتنتج المناطق الباردة كمية أعلى من حمض الأوليك

من المناطق الأكثر دفئًا. تُوجد الآن أدلة مقنعة على أن اتباع نظام غذائي يحتوي على نسبة عالية من الدهون المشبعة يمكن أن يسهم في الإصابة بأمراض القلب. كما أنَّ معدل الإصابة بأمراض القلب أقل في منطقة البحر الأبيض المتوسط، حيث يستهلك الكثير من زيت الزيتون وحمض الأوليك. من المعروف أن الدهون المشبعة تزيد من تركيزات الكوليسترول في الدم، في حين أن الدهون والزيوت المتعددة غير المشبعة تخفض هذه المستويات. الأحماض الدهنية الأحادية غير المشبعة، مثل حمض الأوليك، لها تأثير محايد في مستوى الكوليسترول في الدم (مستوى الكوليسترول في الدم).

تتضمن العلاقة بين أمراض القلب والأحماض الدهنية أيضًا عاملًا آخر: نسبة البروتين الدهني عالي الكثافة (المعروف اختصارًا بالحروفHDL) إلى نسبة البروتين الدهني منخفض الكثافة (LDL). البروتين الدهني هو تراكم غير قابل للذوبان في الماء من الكوليسترول والبروتين والدهون الثلاثية. تعمل البروتينات الدهنية عالية الكثافة -التي تسمى غالبًا البروتينات الدهنية «الجيدة»- على نقل الكوليسترول من الخلايا التي تراكمت لديها كمية كبيرة جدًّا من هذا المركب إلى الكبد للتخلص منه. وهذا يمنع الكوليسترول الزائد من الترسب على جدران الشرايين. تعمل البروتينات الدهنية «السيئة»، وهي اختصارًا LDL، على نقل الكوليسترول من الكبد أو الأمعاء الدقيقة إلى الخلايا المتكونة أو النامية حديثًا. في حين أن هذه وظيفة ضرورية، فإن وجود الكثير من الكوليسترول في مجرى الدم يؤدي في نهاية المطاف إلى ترسبات من اللويحات على جدران الشرايين، مما

يؤدي إلى تضييق الشرايين. إذا أصبحت الشرايين التاجية المؤدية إلى عضلات القلب مسدودة، فإن انخفاض تدفق الدم الناتج يمكن أن يسبب آلام في الصدر ونوبات قلبية.

النسبة بين البروتينات الدهنية عالية الكثافة إلى البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة، وكذلك بالإضافة إلى مستوى الكوليسترول الإجمالي، هو المهم في تحديد خطر الإصابة بأمراض القلب. على الرغم من أن الدهون الثلاثية المتعددة غير المشبعة لها تأثير إيجابي في خفض مستويات الكوليسترول في الدم، فإنها تخفض النسبة بين البروتينات الدهنية عالية الكثافة إلى البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة وهو تأثير سلبي. الدهون الثلاثية الأحادية غير المشبعة مثل زيت الزيتون، رغم أنها لا تقلل من مستويات الكوليسترول في الدم، تزيد من النسبة بين البروتينات الدهنية عالية الكثافة إلى البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة، أي نسبة البروتين الدهني الجيد إلى البروتين الدهني السيئ. ومن بين الأحماض الدهنية المشبعة، تعمل أحماض البالمتيك (C16) واللوريك (C12) على رفع مستويات البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة ارتفاعًا ملحوظًا. وما يسمى بالزيوت الاستوائية -جوز الهند، والنخيل، ونواة النخيل- التي تحتوي على نسب عالية من هذه الأحماض الدهنية، يُشتبه فيها تحديدًا في أنَّها تؤدي إلى الإصابة بأمراض القلب لأنها تزيد من مستويات الكوليسترول في الدم ومستويات البروتين الدهني منخفض الكثافة.

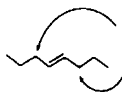
على الرغم من أن الخصائص الصحية لزيت الزيتون ظلت موضع تقدير بين مجتمعات البحر الأبيض المتوسط القديمة واعتُقد

أنَّها مسؤولة عن طول العمر، فلم تكن هناك معرفة بالكيمياء الكامنة وراء هذه المعتقدات. في الواقع، في الأوقات التي تمثلت فيها المشكلة الغذائية الرئيسة بلا تعقيد في الحصول على ما يكفي من السعرات الحرارية، لم يكن لمستويات الكوليسترول في الدم والنسب بين البروتينات الدهنية عالية الكثافة إلى البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة أي صلة. لعدة قرون، في حال الغالبية العظمى من سكان شمال أوروبا، حيث كان المصدر الرئيس للدهون الثلاثية في النظام الغذائي هو الدهون الحيوانية ومتوسط العمر المتوقع أقل من أربعين عامًا، لم يُحدث تصلب الشرايين مشكلة. فقط مع زيادة متوسط العمر المتوقع وزيادة تناول الأحماض الدهنية المشبعة المصاحبة للازدهار الاقتصادي، أصبح مرض القلب التاجي سببًا رئيسًا للوفاة.

يظهر جانب آخر من كيمياء زيت الزيتون يفسر أيضًا أهميته في العالم القديم. مع زيادة عدد الروابط المزدوجة بين ذرة كربون إلى ذرة كربون في الأحماض الدهنية، فإن ميل الزيت إلى الأكسدة يجعله زنخًا. نسبة الأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة في زيت الزيتون أقل بكثير مما هي عليه في الزيوت الأخرى، وعادة ما تكون أقل من ١٠٪، مما يمنح زيت الزيتون فترة صلاحية أطول من أي زيت آخر تقريبًا. كذلك، يحتوي زيت الزيتون على كميات صغيرة من البوليفينول والفيتامينات هـ وك، وهي جزيئات مضادة للأكسدة تلعب دورًا حاسمًا بصفتها مواد حافظة طبيعية. تساعد طريقة الضغط البارد التقليدية لاستخراج الزيت من الزيتون على الاحتفاظ بهذه الجزيئات المضادة للأكسدة، التي يمكن أن تُدمر تحت درجات الحرارة المرتفعة.

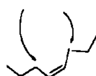
اليوم، إحدى طرق تحسين ثبات الزيوت وزيادة عمرها الافتراضي هي إزالة بعض الروابط المزدوجة عن طريق الهدرجة، وهي عملية إضافة ذرات الهيدروجين إلى الروابط المزدوجة للأحماض الدهنية غير المشبعة. النتيجة هي أيضًا الدهون الثلاثية أكثر صلابة. هذه هي الطريقة المستخدمة لتحويل الزيوت إلى بدائل الزبدة مثل السمن. لكن عملية الهدرجة تغير أيضًا الروابط المزدوجة المتبقية من تكوين مقرون إلى تكوين مفروق، حيث تكون ذرات الكربون في السلسلة على طرفي نقيض من الرابطة المزدوجة.

ذرات الكربون ليست على الجانب
نفسه من الرابطة المزدوجة.



رابطة مزدوجة مفروقة

توجد ذرات الكربون على الجانب نفسه من الرابطة المزدوجة.



رابطة مزدوجة مقرونة

من المعروف أن الأحماض الدهنية المتحولة ترفع مستويات البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة، ولكن ليس بقدر الأحماض الدهنية المشبعة.

التجارة في زيت الزيتون

تميزت المواد الحافظة الطبيعية الموجودة بصفتها مضادات للأكسدة في الزيتون بأهمية قصوى لدى تجار الزيت في اليونان القديمة. هذه الحضارة ما هي إلَّا اتحاد واسع بين دول المدن، يجمعه لغة مشتركة، وثقافة مشتركة، وقاعدة اقتصادية زراعية مشتركة: القمح والشعير والعنب والتين والزيتون. لقرون كثيرة طويلة، امتلأت الأراضي المحيطة بشواطئ البحر الأبيض المتوسط بغابات أكثر مما هي عليه الآن؛ والتربة حينها أكثر خصوبة، وتوافرت الكثير من المياه الآتية من الينابيع. مع نمو السكان، انتشرت زراعة المحاصيل من الوديان الصغيرة الأصلية حتى جوانب الجبال الساحلية. وبفضل قدرة شجرة الزيتون على النمو على الأراضي شديدة الانحدار والصخرية وتحمل الجفاف، زادت أهميته زيادة متنامية. صار زيتها أكثر قيمة بصفته سلعة تصديرية، لأنه في القرن السادس قبل الميلاد، إلى جانب القوانين الصارمة ضد القطع غير المنضبط لأشجار الزيتون، فرض سولون الأثيني أيضًا زيت الزيتون بوصفه المنتج الزراعي الوحيد الذي يمكن تصديره. ونتيجة لذلك، قُطِعَت الغابات الساحلية وزرعت المزيد من أشجار الزيتون. من حيث كانت تنمو محاصيل الحبوب ذات يوم، ازدهرت بساتين الزيتون.

اتضحت القيمة الاقتصادية لزيت الزيتون للعيان. أصبحت الدول المدن مراكز للتجارة. أمَّا السفن الكبيرة، التي تعمل بالأشرعة أو المجاديف، والمُصممة لحمل مئات من جرَّات الزيت وقواريره، فتنتشر في جميع أنحاء البحر الأبيض المتوسط، وتعود بالمعادن

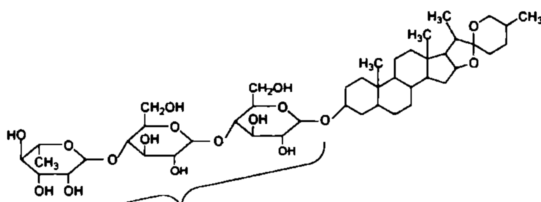
والتوابل والأقمشة والسلع الأخرى المتوافرة من الموانئ البعيدة. تبع الاستعمار التجارة، وبحلول نهاية القرن السادس قبل الميلاد. توسع العالم الهيليني إلى ما هو أبعد من بحر إيجه: إلى إيطاليا وصقلية وفرنسا وجزر البليار في الغرب، وحول البحر الأسود إلى الشرق، وحتى إلى ساحل ليبيا على الشواطئ الجنوبية للبحر الأبيض المتوسط.

لكن طريقة سولون في تعزيز إنتاج زيت الزيتون نتج عنها عواقب بيئية لا تزال واضحة في اليونان حتى اليوم. فالغابات التي دُمرت والحبوب التي توقفوا عن زراعتها تحتوي على أنظمة جذرية ليفية كانت تسحب المياه من بالقرب من السطح وتعمل على ترابط الأرض المحيطة معًا. يعمل الجذر الطويل لشجرة الزيتون على سحب الماء من طبقات عميقة تحت السطح ولم يكن له أي تأثير قوي في التربة السطحية. جفت الينابيع تدريجيًا، وجرفت التربة، وتآكلت الأرض. الحقول التي كانت تزرع الحبوب والمنحدرات التي تحمل الكروم لم تعد قادرة على دعم هذه المحاصيل. أصبحت الثروة الحيوانية نادرة. صارت اليونان غارقة في زيت الزيتون، ولكن لا بد من استيراد المزيد والمزيد من المواد الغذائية الأخرى، وهو عامل مهم في حكم إمبراطورية كبيرة. وردت أسباب كثيرة لتراجع اليونان الكلاسيكية: الصراع الداخلي بين دول المدن المتحاربة، وعقود من الحرب، والافتقار إلى القيادة الفعالة، وانهيار التقاليد الدينية، والهجمات من الخارج. ربما يمكننا أن نضيف شيئًا آخر: فقدان الأراضي الزراعية القيمة بسبب متطلبات تجارة زيت الزيتون.

صابون من زيت الزيتون

لعل زيت الزيتون عامل في انهيار اليونان الكلاسيكية، ولكن في حوالي القرن الثامن الميلادي، ربما لإدخال منتج من زيت الزيتون، وهو الصابون، تبعات أكثر أهمية على المجتمع الأوروبي. أصبح الصابون اليوم عنصرًا شائعًا إلى درجة أننا لا ندرك الدور المهم الذي لعبه في الحضارة الإنسانية. حاول أن تتخيل للحظة الحياة من دون صابون أو منظفات أو شامبو أو مساحيق غسيل أو منتجات مماثلة. ننظر الآن إلى قدرة الصابون على تنظيف الأوساخ على أنَّها قدرة مضمونة ومفروغ منها، ولكن من دونها لن يُمكن إنشاء المدن الكبرى في يومنا هذا. الأوساخ والمرض من شأنهما أن يجعلا الحياة محفوفة بالأخطار في مثل هذه الظروف وربما لا تصبح قابلة للحياة. لا يمكن إلقاء اللوم كليًا على قذارة مدن العصور الوسطى وبؤسها، التي عدد سكانها أقل بكثير من المدن الكبرى اليوم، على نقص الصابون، ولكن من دون هذا المركب الأساسي لصار الحفاظ على النظافة أمرًا صعبًا صعوبة عسيرة.

على مدى قرون، استفادت البشرية من قوة التطهير لبعض النباتات. تحتوي مثل هذه النباتات على السابونين، والمركبات الجليكوسيدية (المحتوية على السكر) مثل تلك التي استخرج منها راسل ماركر السابوجينين التي أصبحت الأساس لحبوب منع الحمل، والجليكوسيدات التي تُعالج القلب مثل الديجوكسين وجزيئات أخرى يستخدمها المعالجون بالأعشاب والذين لُحُقت بهم تهمة السحر.



السارسابونين، سابونين من نبات الساراسابيلا

أسماء النباتات مثل نبتة الصابون، وتوت الصابون، وزنبق الصابون، ولحاء الصابون، وعشب الصابون، وجذور الصابون تعطي فكرة عن خصائص المجموعة المتنوعة من النباتات التي تحتوي على السابونين. تشمل هذه أفرادًا من عائلة الزنبق، والسرخس، والكامبيون، واليوكا، ونبتة السّذاب، والدلايات، وجنس *سابيندوس* لا تزال مستخلصات السابونين من بعض هذه النباتات تستخدم حتى اليوم لغسل الأقمشة الرقيقة أو في صناعة شامبو للشعر. تنتج رغوة ناعمة نعومة فائقة ولها تأثير تنظيف لطيف إلى حد كبير.

من المرجح أنَّ عملية صنع الصابون مجرد اكتشاف عَرَضيّ. ربما لاحظ أولئك الذين يطبخون على نار الحطب أن الدهون والزيوت التي تقطر من الطعام إلى الرماد تنتج مادة تشكل زبدة رغوية في الماء. لم يستغرق الأمر وقتًا طويلًا حتى أدركنا أن هذه المادة إنما هي عامل تنظيف مفيد، وأنه يمكن تصنيعها عمدًا باستخدام الدهون أو الزيوت ورماد الخشب. لا شك أن مثل هذه الاكتشافات حدثت في

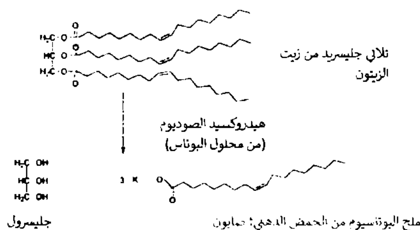
أجزاء كثيرة من العالم، وذلك لأنَّه توجد أدلة على إنتاج الصابون في الكثير من الحضارات. عُثِرَ على أسطوانات طينية تحتوي على نوع من الصابون وتعليمات صناعته في عند التنقيب واستخراج أغراض تعود إلى العصر البابلي منذ ما يقرب من خمسة آلاف سنة. كما أنَّ السجلات المصرية التي يرجع تاريخها إلى 1500 قبل الميلاد تظهر أن الصابون كان يُصنع من الدهون ورماد الخشب، وعلى مر القرون وردت إشارات إلى استخدام الصابون في صناعات النسيج والصباغة. ومن المعروف أن الغال استخدموا الصابون المصنوع من دهن الماعز والبوتاس لتفتيح شعرهم أو احمراره. يوجد استخدام آخر لهذا الصابون وهو أنه عومل على أنه نوع من الدهن لتقوية الشعر، أي جل للشعر في مرحلة مبكرة من التاريخ. كما يُنسب إلى الشعوب الكلتية اكتشاف صناعة الصابون واستخدامه للاستحمام وغسل الملابس.

تنسب الأسطورة الرومانية اكتشاف صناعة الصابون إلى النساء اللاتي غسلن الملابس في نهر التيبر عند مجرى النهر من المعبد على جبل سابو. مُزجت دهون الحيوانات التي تحققت التضحية بها في المعبد برماد نيران القرابين. عندما هطل المطر، كانت هذه النفايات تتدفق أسفل التل وتدخل نهر التيبر على شكل دفقات صابونيّة، يمكن أن تستخدمه النسوة اللائي يغسلن في روما. أمَّا المصطلح الكيميائي للتفاعل الذي يحدث عندما تتفاعل الدهون الثلاثية من الدهون والزيوت مع القلويات -من الرماد- فهو التصبن، وهي كلمة مشتقة من اسم جبل سابو، كما هي كلمة الصابون في عدد من اللغات.

على الرغم من أن الصابون صُنع في العصر الروماني، فإنه استُخدم بصورة أساسية لغسل الملابس. كما هو الحال مع اليونانيين القدماء، تشمل النظافة الشخصية عند معظم الرومان قديمًا عادة فرك الجسم بخليط من زيت الزيتون والرمل، ويأتي بعد ذلك إزالته بمكشطة مصنوعة خصيصًا لهذا الغرض والمعروفة باسم ستريجيل. أزيلت الشحوم والأوساخ والجلد الميت بهذه الطريقة. دخل استخدام الصابون تدريجيًّا في الاستحمام خلال القرون اللاحقة من العصر الروماني. من المحتمل أن الصابون وصناعة الصابون ارتبطت بالحمامات العامة، وهي سمة شائعة في المدن الرومانية التي انتشرت في جميع أنحاء الإمبراطورية الرومانية. مع تراجع روما، يبدو أن صناعة الصابون واستخدامه قلّا أيضًا في أوروبا الغربية، على الرغم من أنه ما زال يُصنع ويستخدم في الإمبراطورية البيزنطية والعالم العربي.

أمّا في إسبانيا وفرنسا خلال القرن الثامن، فحدث إحياء لفن صناعة الصابون باستخدام زيت الزيتون. الصابون الناتج، المعروف باسم «قشتالة» نسبة إلى منطقة في إسبانيا، عالي الجودة ونقي وأبيض ولامع. صُدر الصابون القشتالي إلى أجزاء أخرى من أوروبا، وبحلول القرن الثالث عشر أصبحت إسبانيا وجنوب فرنسا مشهورتين بهذا المنتج الفاخر. اعتمدت صناعة الصابون في شمال أوروبا على الدهون الحيوانية أو زيوت السمك؛ كان الصابون الذي ينتجونه رديء الجودة ويستخدم بصورة أساسية لغسل الأقمشة.

يكسر التفاعل الكيميائي لصنع الصابون -التصبن- الدهون الثلاثية ويحولها إلى الأحماض الدهنية المكونة لها والجلسرين من خلال استخدام القلويات أو القواعد، مثل هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH).



تفاعل التصبن لجزيء ثلاثي الجليسريد لحمض الأوليك، يكون الجليسرول وثلاثة جزيئات من الصابون

صابون البوتاسيوم ناعم؛ أمَّا المصنوع من الصوديوم فهو قاسٍ. في الأصل، كانت معظم أنواع الصابون من صابون البوتاسيوم، وذلك لأن رماد الخشب الناتج عن حرق الأخشاب والجفت هو المصدر الأكثر سهولة للقلويات. البوتاس (يعني حرفيًا، الرَّماد من وعاء النار) هو كربونات البوتاسيوم (K_2CO3) ويشكل في الماء محلولًا قلويًا خفيفًا. حيثما توافر رماد كربونات الصوديوم، (Na_2CO3) وصار متاحًا، أنتج الصابون القاسي. وكان مصدر الدخل الرئيس في بعض المناطق الساحلية -وبخاصة أسكوتلندا وإيرلندا- هو جمع عشب البحر والأعشاب البحرية الأخرى، التي تُحرق لتكوين رماد الصوديوم. وينتج رماد الصوديوم المذاب في الماء أيضًا محلولًا قلويًا.

تراجعت ممارسة الاستحمام في أوروبا مع تراجع الإمبراطورية الرومانية، على الرغم من أن الحمامات العامة ما زالت موجودة وتستخدم في الكثير من المدن حتى أواخر العصور الوسطى. خلال سنوات الطاعون، بدءًا من القرن الرابع عشر، شرعت سلطات المدينة في إغلاق الحمامات العامة، خوفًا من أن تسهم في انتشار الموت الأسود. وبحلول القرن السادس عشر، لم يصبح الاستحمام أمرًا غير عصري فحسب، بل نُظر إليه على أنَّه فعل خطير أو خطيئة. أولئك الذين يستطيعون تحمل التكاليف عملوا على تغطية روائح الجسم بمنتجات ليبرالية من الروائح والعطور. اقتصر وجود الحمامات على عدد محدود من المنازل. الاستحمام مرة واحدة في السنة هو القاعدة. لا عجب أن رائحة الجثث غير المغسولة كانت لا تُطاق. ومع ذلك، ظل الصابون مطلوبًا خلال هذه القرون. غسل ملابس الأغنياء وأغطيتهم. استخدم الصابون لتنظيف الأواني والطناجر والأطباق وأدوات المائدة والأرضيات والطاولات. غُسلت الأيدي وربما الوجوه بالصابون. وكان غسل جميع البدن المكروه، ولا سيما الاستحمام عاريًا.

بدأت صناعة الصابون تجاريًا في إنجلترا في القرن الرابع عشر. كما هو الحال في معظم دول شمال أوروبا، صُنع الصابون بصورة أساسية من دهون الماشية أو الشحم، الذي يبلغ محتواه من الأحماض الدهنية حوالي 48 في المئة من حمض الأوليك. تحتوي الدهون البشرية على حوالي 46 في المئة من حمض الأوليك؛ كل من هذه الأحماض الدهنية تحتوي على أعلى النسب من حمض الأوليك في عالم الحيوان. بالمقارنة،

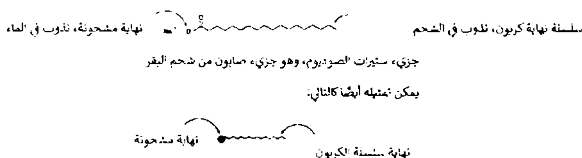
فإن الأحماض الدهنية الموجودة في الزبدة تبلغ حوالي 27 في المئة من حمض الأوليك وفي دهن الحوت حوالي 35 في المئة. في عام 1628، عندما اعتلى تشارلز الأول عرش إنجلترا، صارت صناعة الصابون صناعة مهمة. وفي محاولة يائسة للحصول على مصدر للدخل -رفض البرلمان الموافقة على مقترحاته لزيادة الضرائب- باع تشارلز حقوق احتكار إنتاج الصابون. وتوجه صانعو الصابون الآخرون، الغاضبون من فقدان مصدر رزقهم، بدعمهم للبرلمان. ولذلك قيل إن الصابون كان أحد أسباب الحرب الأهلية الإنجليزية من عام 1642 إلى عام 1652، وإعدام تشارلز الأول، وتأسيس الجمهورية الوحيدة في تاريخ إنجلترا. يبدو هذا الادعاء بعيد المنال إلى حد ما، حيث من الصعب أن يصير دعم صانعي الصابون عاملًا حاسمًا؛ الخلافات حول سياسات الضرائب والدين والسياسة الخارجية، وهي القضايا الرئيسة بين الملك والبرلمان، هي الأسباب الأكثر ترجيحًا. على أي حال، لم تكن الإطاحة بالملك ذات فائدة كبيرة لصانعي الصابون، حيث إن النظام البيوريتاني الذي أعقب ذلك رأى أنَّ أدوات النظافة تافهة، كما فرض الزعيم البيوريتاني، أوليفر كروميل، اللورد حامي إنجلترا، ضرائب باهظة على الصابون.

ومع ذلك، يمكن النظر إلى الصابون على أنه مسؤول عن انخفاض معدل وفيات الرضع في إنجلترا وذلك أصبح واضحًا في الجزء الأخير من القرن التاسع عشر. منذ بداية الثورة الصناعية في أواخر القرن الثامن عشر، توافد الناس إلى المدن بحثًا عن عمل في المصانع. أعقبت ظروف السكن في الأحياء الفقيرة هذا النمو السريع لسكان

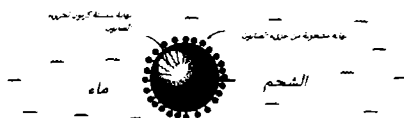
الحضر. في المجتمعات الريفية، كانت صناعة الصابون حرفة منزلية في الأساس؛ بقايا الشحم والدهون الأخرى التي احتُفظ بها من ذبح حيوانات المزرعة المطبوخة مع رماد الليلة الماضية ستنتج صابونًا خشنًا ولكن بأسعار معقولة. ولم يحظَ سكان المدينة بمصدر مماثل للدهون. لا بد من شراء الشحم البقري وهو طعام ذو قيمة كبيرة هائلة بحيث لا يمكن استخدامه لصنع الصابون. كما لم يسهل كذلك الحصول على رماد الخشب. الفحم هو وقود فقراء المناطق الحضرية، ولم تكن الكميات الصغيرة من رماد الفحم المتوافرة مصدرًا جيدًا للقلويات اللازمة لتصبن الدهون. وحتى لو أنَّ المكونات في متناول اليد، فإن أماكن معيشة الكثير من عمال المصانع لم تتمتع، في أحسن الأحوال، سوى بمرافق مطبخ بدائية ومساحة أو معدات صغيرة لصنع الصابون. وهكذا لم يعد الصابون يُصنع في المنزل. لا بد من شرائه، وذلك عمومًا فوق إمكانات عمال المصانع. انخفضت معايير النظافة، التي لم تكن مرتفعة في البداية، إلى مستوى أقل، وأسهمت الظروف المعيشية القذرة في ارتفاع معدل وفيات الرضع.

ولكن في نهاية القرن الثامن عشر، اكتشف الكيميائي الفرنسي نيكولا لوبلان طريقة فعالة لصنع رماد الصوديوم من الملح العادي. أدى انخفاض تكلفة هذه القلويات، وزيادة توافر الدهون، وأخيرًا في عام 1853، إلغاء جميع الضرائب على الصابون إلى خفض السعر بحيث أصبح الاستخدام على نطاق واسع ممكنًا. يُعزى الانخفاض في وفيات الرضع منذ هذا الوقت تقريبًا إلى قوة التطهير اليسيرة والفعالة للصابون والماء.

تنظف جزيئات الصابون لأن أحد طرفي الجزيء يحمل شحنة ويذوب في الماء، في حين أن الطرف الآخر لا يذوب في الماء ولكنه يذوب في مواد مثل الشحوم والزيوت والدهون. الصيغة البنائية لجزيء الصابون هي:



يبين الرسم التالي نهاية سلسلة الكربون للكثير من هذه الجزيئات التي تخترق جسيم الشحوم وتشكل كتلة تعرف باسم *المذيلة*. تتنافر جزيئات الصابون، ذات الأطراف السالبة الشحنة لجزيئات الصابون من الخارج، وتُغسل بالماء، فتأخذ في طريقها معها جزيئات الشحوم.



مذيلة صابون في الماء. تبقى الأطراف المشحونة لجزيئات الصابون في الماء؛ نهايات سلسلة الكربون مدمجة في الشحم.

على الرغم من أن صناعة الصابون امتدت منذ آلاف السنين وأنَّه صُنِّع تجاريًّا منذ مئات السنين، فإن المبادئ الكيميائية لتكوينه لم تُفهم لفترة طويلة إلى حد كبير. يمكن صنع الصابون مما بدا وكأنه مجموعة واسعة من المواد المختلفة -زيت الزيتون، والشحم، وزيت النخيل، وزيت الحوت، ودهن الخنزير- وبما أن التركيب الكيميائي لهذه

المنتجات لم يكن معروفًا حتى أوائل القرن التاسع عشر، فإن التشابه الأساسي بين الأحماض الثلاثية في بنيتهم لم يُعرف. مرَّ وقت طويل في القرن التاسع عشر قبل أن تُقدر كيمياء الصابون حق قدرها. وبحلول ذلك الوقت، اتخذت التغيرات الاجتماعية في المواقف مسارًا تجاه الاستحمام، والازدهار المتزايد تدريجيًّا للطبقات العاملة، وفهم العلاقة بين المرض والنظافة، وذلك يعني أن الصابون أصبح عنصرًا أساسيًا في الحياة اليومية. تحدى صابون المراحيض الفاخر المصنوع من دهون وزيوت مختلفة، التفوق الراسخ للصابون القشتالي المصنوع من زيت الزيتون، ولكن الصابون القشتالي -ومن ثم زيت الزيتون- هو المسؤول بصورة أساسية عن الحفاظ على درجة معينة من النظافة الشخصية لما يقرب من ألف عام.

يُعرف زيت الزيتون اليوم عمومًا بتأثيراته الإيجابية في صحة القلب والنكهة اللذيذة التي يضفيها على الطعام. أمَّا دوره في الحفاظ على تقاليد صناعة الصابون على قيد الحياة وبالتالي مكافحة الأوساخ والأمراض خلال العصور الوسطى فهو لم يُحط به علمًا كاملًا. لكن الثروة التي جلبها زيت الزيتون إلى اليونان القديمة سمحت في نهاية المطاف بتعزيز الكثير من مُثُل تلك الثقافة التي لا نزال نقدرها حتى اليوم. عثر على جذور الحضارة الغربية الحالية في الأفكار التي تعززت في الثقافة السياسية لليونان الكلاسيكية: مفاهيم الديمقراطية والحكم الذاتي، والفلسفة، والمنطق وبداية البحث العقلاني، والتحقيقات العلمية والرياضية، والتعليم، والفنون.

سمح ثراء المجتمع اليوناني بمشاركة آلاف المواطنين في عملية التحقيق والتقصي، وفي النقاشات الدقيقة، وفي الاختيارات السياسية. أكثر من أي مجتمع قديم آخر، كان الرجال (النساء والعبيد لم يكونوا مواطنين) يشاركون في القرارات التي أثرت في حياتهم. وفرت التجارة في زيت الزيتون الكثير من رخاء المجتمع؛ وتبع ذلك التعليم والمشاركة المدنية. إن أمجاد اليونان -التي هي الآن أساس المجتمعات الديمقراطية اليوم- لم تكن لتتحقق لولا الدهون الثلاثية الموجودة في حمض الأوليك.

الفصل الخامس عشر

الملح

يمتد تاريخ ملح كلوريد الصوديوم الشائع، صيغته الكيميائية $NaCl$، بالتوازي مع تاريخ الحضارة البشرية. يا لها من قيمة ومكانة حظي بهما الملح، ويا لها من حاجة دعت إليه ومن ضرورة اقتضت توافره، وصار لاعبًا رئيسًا في التجارة العالميّة، بل في المقاطعات الاقتصادية وسلاسل حركات الاحتكار والحروب ونمو المدن وأنظمة التحكم الاجتماعية والسياسيّة، وحركات التقدم الصناعيّة، وهجرات الشعوب. الآن صار الملح شيئًا مُعضلًا كلغز أو أحجيّة. ما من شكٍ في أنَّه عنصر جوهريّ للحياة -سنموت من دونه- لكننا أُخبرنا أن نراقب كمية الملح التي نتناولها لأن الملح قد يقتل: الملح رخيص؛ نعمل على إنتاجه واستخدام كميات هائلة منه. ومع ذلك، وعلى مدار روايات التاريخ المدوَّنة تقريبًا، وربما لعدة قرون قبل أن يُشرع في تدوين أي حدث تاريخي، كان الملح سلعة ثمينة وفي كثير من الأحيان سلعة باهظة الثمن. هَبْ أن شخصًا عاديًا في بداية القرن التاسع عشر علم أنَّنا نعمل على إلقاء كميات وأكوام من الملح على الطريق لإزالة الجليد، لواجه صعوبة بالغة في تصديق ذلك.

انخفضت أسعار الكثير من الجزيئات الأخرى بفضل جهود الكيميائيين، إما لأننا نستطيع الآن تصنيع المركب في المختبرات

والمصانع (حمض الأسكوربيك، والمطاط، والصبغة النيلية، والبنسلين) وإمّا لأننا نستطيع صنع بدائل صناعية، مركبات لها خصائص متشابهة إلى حد كبير أن يصير المنتج الطبيعي أقل أهمية (المنسوجات والبلاستيك وأصباغ الأنيلين). اليوم، نعتمد على مواد كيميائية أحدث (المبردات) لحفظ الطعام، لذلك لم تعد جزيئات التوابل تستحق السعر الذي كانت عليه من قبل. كما أدت مواد كيميائية أخرى -مثل المبيدات والأسمدة- إلى زيادة إنتاجية المحاصيل، وبالتالي زيادة إمدادات جزيئات مثل الجلوكوز، والسليلوز، والنيكوتين، والكافيين، وحمض الأوليك. ولكن من بين جميع المركبات، على الأرجح جاء إنتاج الملح بكميات أكبر مقترنة بالانخفاض الشديد في الأسعار.

الحصول على الملح

على مرِّ التاريخ، عمل البشر على جمع الملح أو إنتاجه. لجُا إلى استخدام ثلاث طرق رئيسة لإنتاج الملح -تبخير مياه البحر، وغلي المحاليل الملحية من الينابيع المالحة، واستخراج الملح الصخري- في العصور القديمة ولا تزال تُستخدم حتى يومنا الحالي. أمَّا تبخير مياه البحر باستخدام الطَّاقة الشمسيّة فكان (ولا يزال) الطريقة الأكثر شيوعًا لإنتاج الملح في المناطق الساحلية الاستوائية. العملية بطيئة ولكنها رخيصة. في الأصل، كانت مياه البحر تُلقى على الجمر المحترق، ثُمَّ تُكشط الأملاح عند إطفاء النار. كما أمكن حصاد كميات أكبر من جوانب برك الصخور الساحلية. ولم يكن الأمر يتطلب الكثير من الخيال لإدراك أن البحيرات الضحلة الاصطناعية

أو «الأحواض»، التي جرى بناؤها في مناطق يُمكن خلالها الاستفادة من تدفق المد والجزر لملء هذه الأحواض حسب الحاجة، يمكن أن توفر كميات أكبر بكثير من الملح.

ملح البحر الخام ذو جودة أقل إلى حدٍ كبير من محاليل الملح أو الملح الصخري. على الرغم من أن مياه البحر تحتوي على حوالي 3.5 في المئة من الأملاح الذائبة؛ فإن ثلثي هذه النسبة تقريبًا ما هي إلَّا كلوريد الصوديوم؛ أمَّا النسبة الباقية فهي خليط من كلوريد المغنيسيوم (MgCl2) وكلوريد الكالسيوم (CaCl2). نظرًا إلى أنَّ هذين الكلوريدين الأخيرين أكثر قابلية للذوبان وأقل وفرة من كلوريد الصوديوم، فإن كلوريد الصوديوم (NaCl) يتبلور في المحلول أولًا[1]، لذلك من الممكن إزالة معظم كلوريد المغنيسيوم (MgCl2) وكلوريد الكالسيوم (CaCl2) عن طريق تفريغهما بعيدًا عن المحلول الملحي المتبقي. ولكن يبقى ما يكفي لإعطاء ملح البحر طعمًا أكثر حدة، وهما ما يُنسب إليهما وجود هذه الشوائب في الملح. يُصنَّف كل من كلوريد المغنيسيوم والكالسيوم على أنهما من المواد المائعة، مما يعني أنهما يمتصان الماء من الهواء، وعندما يحدث ذلك، يتجمع الملح الذي يحتوي على هذين الكلوريدين الإضافيين ويصعب إخراج الملح من الحاوية التي وُضع فيها.

(1) ملحوظة المترجمة: يحصل التبلور عندما يتعرض المحلول إلى ظرف يُعزز هذه البلورة (مثل التبريد أو التبخير).

ظلَّ تبخر مياه البحر أكثر فعالية في المناخات الحارة والجافة، أمَّا في حالة الينابيع المالحة، والمصادر الجوفية لمحاليل الملح عالية التركيز -وأحيانًا أكثر تركيزًا بعشر مرات من مياه البحر- فهي أيضًا مصدر ممتاز للملح في أي ظرف مناخي، إذا توافر الحطب اللازم لإشعال النيران لغلي الماء الموجود في المحاليل الملحية. تسبب الطلب على الأخشاب لإنتاج الملح في إزالة الغابات في أجزاء من أوروبا. كان الملح من المحلول الملحي، الذي لا يحتوي على شوائب المغنيسيوم وكلوريد الكالسيوم، والذي قلل من فعالية حفظ الأغذية، مرغوبًا فيه أكثر من ملح البحر ولكنه أيضًا أكثر تكلفة.

توجد رواسب الملح الصخري أو الهاليت -الاسم المعدني لكلوريد الصوديوم الموجود في الأرض- في أجزاء كثيرة من العالم. الهاليت هو البقايا المجففة للمحيطات أو البحار القديمة، وقد استُخرج لعدة قرون، وبخاصة عندما توجد مثل هذه الرواسب بالقرب من سطح الأرض. لكن الملح حَظِيَ بقيمةٍ كبيرةٍ لدرجة أنه في وقت مبكر من العصر الحديدي، تحول الناس في أوروبا إلى التعدين تحت الأرض، مما أدى إلى إنشاء آبار عميقة، وأميال من الأنفاق، وكهوف كبيرة مجوفة بسبب إزالة الملح. نشأت المستوطنات حول هذه المناجم، وأدى استمرار استخراج الملح إلى إنشاء الحضَر والمدن، التي ازدهرت بفضل اقتصاد الملح.

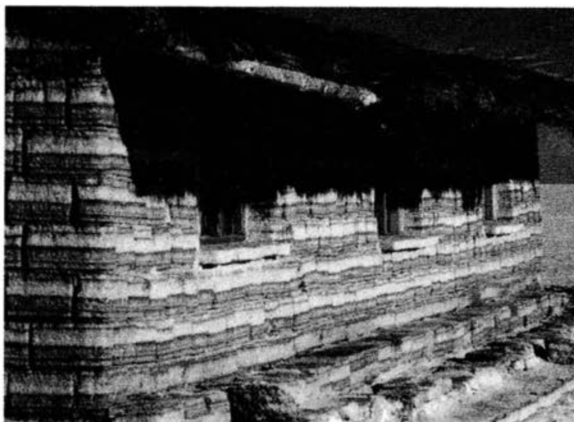
بقيت صناعة الملح أو استخراجه أمرًا مهمًا في كثير من الأماكن في أوروبا على مدار العصور الوسطى؛ وحظي الملح بقيمة كبيرة إلى درجة أنه أُطلق عليه اسم «الذهب الأبيض». نشأت البندقية، التي

كانت مركزًا لتجارة التوابل على مدار عدة قرون، بصفتها مجتمعًا يُحصِّل لقمة عيشه من خلال استخراج الملح من المياه المالحة في البحيرات المستنقعية[1] في المنطقة. أُطلقت أسماء الأنهار والبلدات والمدن في أوروبا -سالزبورغ، وهالي، وهالستات، وهالين، ولا سال، وموسيل - احتفالًا وتخليدًا لصلاتها باستخراج الملح أو إنتاج الملح، حيث إنَّ الكلمة اليونانية التي تعني ملح هي هالز والكلمة اللاتينية هي سال. يوجد طُزْ، وهو الاسم التركي للملح، في توزلا، وهي بلدة تقع في منطقة إنتاج الملح في البوسنة والهرسك، وكذلك في المجتمعات الساحلية في تركيا التي تحمل الأسماء نفسها أو أسماء مشابهة.

أمَّا اليوم، ومن خلال حركة السياحة، فلا يزال الملح مصدر ثروة بعض هذه المدن الملحية القديمة. في سالزبورغ، في النمسا، مناجم الملح نقطة جذب سياحية رئيسة، كما هو الحال في منجم الملح فيليتشكا، بالقرب من مدينة كراكوف في بولندا، حيث توجد في الكهوف الكبيرة التي أدت إزالة الملح إلى إحداث التجاويف بداخلها، وقاعة رقص، وكنيسة صغيرة بها مذبح، وتماثيل دينية منحوتة من الملح والبحيرة تحت الأرض تسحر الآن آلاف الزوار. أكبر منجم سالار، أي ملح، في العالم هو منجم سالار دي أويوني في بوليفيا، حيث يمكن للسياح الإقامة في فندق قريب مصنوع بالكامل من الملح.

---

(1) ملحوظة المترجمة: البحيرات المستنقعيّة أو البحيرات الشاطئية أو البحرية أو اللاكون أو اللاجون (Lagoons): هي تجمع ضحل من الماء يحميه تجمع أكبر من الماء (عادة المحيط) بحواجز من الرمال أو جُزر أو الشعاب المرجانية.



فندق الملح بالقرب من سالار دي أيوني في بوليفيا. (تصوير بيتر لو كوتور)

تجارة الملح

لطالما كان الملح سلعة منذ أقدم العصور، وهو ما يظهر في الروايات والسجلّات المدونة عن الحضارات القديمة. عمل المصريون القدماء في تجارة الملح، وهو عنصر أساسي في عملية التحنيط. أفاد المؤرخ اليوناني هيرودوت عن زيارة منجم ملح في الصحراء الليبية في عام 425 قبل الميلاد، كما تداول الملح من سهل الملح الكبير في داناكيل في إثيوبيا إلى الرومان والعرب وصُدِّر إلى الهند. أنشأ الرومان مصانع ملح ساحلية كبيرة في أوستيا، التي كانت آنذاك عند مصب نهر التيبر، وفي حوالي عام 600 قبل الميلاد، شرعوا في بناء طريق، طريق سالاريا، لنقل الملح من الساحل إلى روما. لا يزال أحد الطرق الرئيسة في روما الحالية يُعرف باسم طريق سالاريا؛ أي طريق الملح.

قُطِعت الغابات لتوفير الوقود لأعمال الملح في أوستيا، وتسبب تآكل التربة اللاحق في غسل كميات متزايدة من الرواسب في نهر التيبر. أدت الرواسب الإضافية إلى تسريع توسع الدلتا عند مصب النهر. وبعد عدة قرون، لم تعد أوستيا على الساحل، وصار لا بد من نقل أعمال الملح إلى الشاطئ مرة أخرى. ورد هذا المثال ليصبح من الأمثلة الأولى دليلًا على تأثير النشاط الصناعي البشري فِي البيئة.

عُرِف الملح على أنَّه الأساس لواحد من أكبر مُثَلَّثاتِ التِّجارة في العالم، وبالتزامن مع انتشار الإسلام إلى الساحل الغربي لإفريقيا. صارت الصحراء الكبرى القاحلة الموحشة القاسيّة على مدار قرون حاجزًا بين دول شمال إفريقيا المطلة على البحر الأبيض المتوسط وبقية القارة في الجنوب. على الرغم من وجود رواسب هائلة من الملح في الصحراء، فإن الطلب على الملح جنوب الصحراء طلبًا متزايدًا. في القرن الثامن، بدأ التجار البربر من شمال إفريقيا في تجارة الحبوب والفواكه المجففة والمنسوجات والأواني مقابل الحصول على ألواح الهاليت المستخرجة من رواسب الملح الكبيرة في الصحراء (في مالي وموريتانيا حاليًّا). توافر الملح توافرًا كثيرًا في هذه المواقع إلى حدِّ أن مدنًا بأكملها مثل مدينة تغازة (مدينة الملح)، المبنية من كتل الملح، نشأت حول المناجم. سافرت قوافل الآلاف من البربر، التي في كثير من الأحيان يصحبها آلاف من الجمال في اليوم الواحد، تُشحن الآن بألواح من الملح، في مسيرة عبر الصحراء إلى تمبكتو، التي كانت في الأصل معسكرًا صغيرًا على الحافة الجنوبية للصحراء على أحد روافد نهر النيجر.

بحلول القرن الرابع عشر، أصبحت تمبكتو مركزًا تجاريًّا رئيسًا، حيث جرت حركات مُبادلة الذهب من غرب إفريقيا بالملح من الصحراء. كما أصبحت مركزًا لانتشار الإسلام الذي جلبه التجار البربر إلى المنطقة. وفي أوج قوتها، في معظم فترات القرن السادس عشر، كانت تمبكتو تتباهى بوجود جامعة قرآنية مؤثرة، ومساجد وأبراج عظيمة، وقصور ملكية مثيرة للإعجاب. وسارت القوافل التي غادرت تمبكتو تحمل الذهب، وفي بعض الأحيان العبيد والعاج، عائدة إلى ساحل البحر الأبيض المتوسط في المغرب ثم إلى أوروبا. على مر القرون، شُحِنت أطنان كثيرة من الذَّهب إلى أوروبا عبر طريق تجارة الذهب/ الملح الصحراوي[1].

كما شُحِنَ الملح الصحراوي إلى أوروبا وازداد الطلب زيادة كبير هناك على الملح. تحتم حفظ الأسماك الطازجة بسرعة، وعلى الرغم من أن عمليتي التدخين والتجفيف نادرًا ما توافرت الإمكانات للقيام بهما في عرض البحر، فإنَّ عملية التمليح أمر ممكن. امتلأ بحر البلطيق وبحر الشمال وعجّ بسمك الرنجة، وسمك القد، والحدُّوق، ومنذ القرن الرابع عشر فصاعدًا، بيعت ملايين الأطنان من هذه الأسماك، المملحة في البحر أو في الموانئ القريبة، في جميع أنحاء أوروبا. في القرنين الرابع عشر والخامس عشر، سيطرت الرابطة الهانزية، وهي منظمة من مدن شمال ألمانيا، على تجارة الأسماك المالحة (وكل شيء آخر تقريبًا) في البلدان المطلة على بحر البلطيق.

---

(1) ملحوظة المترجمة: وردت كلمة صحراوي مكتوبة بالنطق العربي في النص الإنجليزيّ (Saharan).

تركزت تجارة بحر الشمال في هولندا والساحل الشرقي لإنجلترا. ولكن مع توافر الملح للحفاظ على السمك الذي يُحفظ بعد صيده، أصبح من الممكن صيد الأسماك في مناطق أبعد. بحلول نهاية القرن الخامس عشر، ظلت قوارب الصيد من إنجلترا وفرنسا وهولندا ومنطقة الباسك في إسبانيا والبرتغال ودول أوروبية أخرى تبحر بانتظام لصيد الأسماك في جراند بانكس قبالة نيوفاوندلاند. على مدى أربعة قرون، نهبت أساطيل الصيد أسراب سمك القد الضخمة في هذه المنطقة من شمال المحيط الأطلسي، حيث عملت على تنظيف الأسماك وتمليحها في أثناء اصطيادها ثم تعود إلى الميناء بكمية تصل إلى ملايين الأطنان مما بدا وكأنه إمداد لا ينضب. لكن ويا للأسف لم تكن هذه القضية؛ وصل سمك القد في جراند بانكس إلى حافة الانقراض في التسعينيات. واليوم، يجري الالتزام بوقف صيد سمك القد، الذي فرضته كندا في عام 1992، وهذا التزام مفروض على دول الصيد التقليدية، ولكن ليس جميعها.

مع وجود مثل هذا الطلب على الملح، فليس من المفاجئ أن يُنظر إليه في كثير من الأحيان على أنه جائزة حرب وليس سلعة تجارية. في العصور القديمة، وقع غزو للمستوطنات حول البحر الميت خصيصًا بسبب إمداداتها الثمينة من الملح. في العصور الوسطى، شن سكان البندقية حربًا ضد المجتمعات الساحلية المجاورة التي هددت احتكارهم للملح الذي يحظى لديهم بمكانة بالغة الأهميّة. لطالما كان الاستيلاء على إمدادات العدو من الملح منذ فترة طويلة تكتيكًا سليمًا في زمن الحرب. في أثناء الثورة الأمريكية، نتج نقص الملح عن الحظر

البريطاني على الواردات من أوروبا وجزر الهند الغربية إلى المستعمرة السابقة. دمر البريطانيون صناعة الملح على طول ساحل نيوجيرسي للإبقاء على المصاعب التي يعانيها المستعمرون نتيجة لارتفاع أسعار الملح المستورد. أمَّا استيلاء قوات الاتحاد على سالتفيل في ولاية فيرجينيا في عام 1864 خلال الحرب الأهلية الأمريكية فما هو إلَّا خطوة حيوية لخفض معنويات المدنيين وهزيمة الجيش الكونفدرالي. بل إنه وُضع افتراض أن على الأرجح نقص الملح في الغذاء هو ما حال دون شفاء جروح مصابي الحرب، وبالتالي كان مسؤولاً عن وفاة الآلاف من جنود نابوليون خلال الانسحاب من موسكو عام 1812. ويبدو أن نقص حمض الأسكوربيك (وما تلا ذلك من ظهور مرض الإسقربوط) هو السبب المحتمل مثل نقص الملح في ظل هذه الظروف، لذلك يمكن أن ينضم هذان المركبان إلى مشتقات القصدير وحمض الليسرجيك ضمن المواد الكيميائيّة التي أحبطت أحلام نابوليون.

التركيب الكيميائي للملح

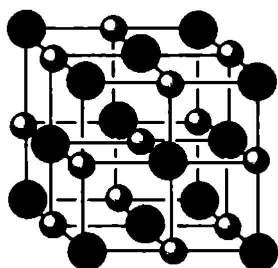
تبلغ قابلية ذوبان الهاليت إلى حوالي 36 جرامًا في كل 100 جرام من الماء البارد، وهو أكثر قابلية للذوبان في الماء ذوبانًا أعلى من المعادن الأخرى. ونظرًا إلى أنه يُعتقد أن الحياة قد تطورت في المحيطات ونظرًا إلى أن الملح ضروري للحياة، فمن دون قابلية ذوبان الملح لما صار للحياة كما نعرفها أي وجود.

الكيميائي السويدي سفانت أوجست أرهينيوس أول من اقترح فكرة الأيونات ذات الشحنات المتعاكسة بصفتها تفسيرًا لبنية الأملاح وخواصها ومحاليلها في عام 1887. لأكثر من قرن من الزمان، ظل العلماء في حيرة من أمرهم بسبب خاصية معينة للمحاليل الملحية، وهي قدرتها على توصيل التيارات الكهربائية. لا تظهر مياه الأمطار أي قدرة على التوصيل الكهربي، إلا أن المحاليل الملحية ومحاليل الأملاح الأخرى موصلات كهربية ممتازة. فسرت نظرية أرهينيوس هذه الموصلية؛ أظهرت تجاربه أنه كلما زاد عدد الملح الذي يذوب في المحلول، زاد تركيز الأجسام المشحونة -أي الأيونات- اللازمة لنقل التيار الكهربائي.

كما أوضح مفهوم الأيونات، وهو ما اقترحه أرهينيوس، سبب تشابه الأحماض، على الرغم من اختلاف بنياتها ظاهريًّا، في خصائصها المشتركة. تنتج جميع الأحماض في الماء أيونات الهيدروجين (H^+) المسؤولة عن الطعم الحامض والتفاعل الكيميائي للمحاليل الحمضية. على الرغم من أن أفكار أرينيوس لم تلقَ قبولًا أو رواجًا في أذهان الكثير من الكيميائيين المحافظين في ذلك الوقت، فقد أظهر درجة جديرة بالثناء من المثابرة والدبلوماسية في حملته الحازمة من أجل سلامة النموذج الأيونيّ. اقتنع منتقدوه في النهاية، وحصل أرهينيوس على جائزة نوبل في الكيمياء في عام 1903 عن نظريته التفكك الإلكتروليتي.

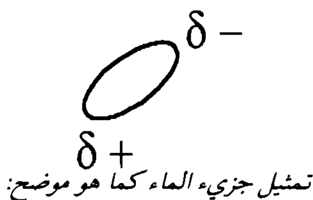
سادت نظرية وأدلة عملية بحلول هذا الوقت عن كيفية تشكل الأيونات. أثبت عالم الفيزياء البريطاني جوزيف جون طومسون في عام 1897 أن جميع الذرات تحتوي على *إلكترونات*، وهي الجسيمات الأساسية للكهرباء سالبة الشحنة وهذا ما اقترحه مايكل فاراداي لأول مرة في عام 1833. وهكذا إذا فقدت ذرة واحدة إلكترونًا أو إلكترونات، فإنها تصبح أيونًا موجب الشحنة؛ وإذا اكتسبت ذرة أخرى إلكترونًا أو إلكترونات، يتكون أيون سالب الشحنة.

يتكون كلوريد الصوديوم الصلب من مجموعة منتظمة من أيونين مختلفين -أيونات الصوديوم ذات الشحنة الموجبة وأيونات الكلوريد ذات الشحنة السالبة- وهي ترتبط معًا بفضل قوى تجاذبية قوية بين الشحنات السالبة والشحنات الموجبة.



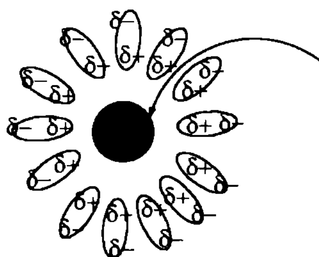
التركيب ثلاثي الأبعاد لكلوريد الصوديوم الصلب. الخطوط التي تربط الأيونات غير موجودة، فهي مدرجة هنا لإظهار الترتيب المكعب للأيونات.

على الرغم من أن جزيئات الماء لا تتكون من أيونات، فهي مشحونة جزئيًّا. جانب واحد من جزيء الماء (جانب الهيدروجين) موجب قليلًا، والجانب الآخر (جانب الأكسجين) سالب قليلًا. وهذا ما يسمح لكلوريد الصوديوم بالذوبان في الماء. ومع أن التجاذب بين أيون الصوديوم الموجب والطرف السالب لجزيئات الماء (والتجاذب بين أيونات الكلوريد السالبة والطرف الموجب لجزيئات الماء) يشبه قوة التجاذب بين أيونات الصوديوم Na^+ وأيونات الكلور Cl^-، فإنَّ ما يُفسِّر في النهاية ذوبان الملح هو ميل هذه الأيونات إلى التشتت بشكل عشوائي. إذا كانت الأملاح الأيونية لا تذوب بأي شكل من الأشكال في الماء، فذلك لأن قوى التجاذب بين الأيونات أكبر من قوى الجذب بين الماء والأيون.



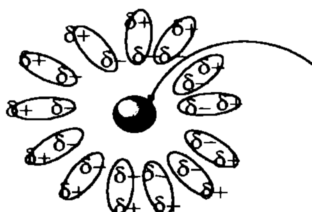
تمثيل جزيء الماء كما هو موضح:

δ- تُشير إلى الطرف السالب الجزئي للجزيء أمَّا فتُشير δ+ إلى الطرف الموجب الجزئي للجزيء، يمكننا توضيح أيونات الكلوريد السالبة في المحلول المائي وهي محاطة بالطرف الموجب قليلًا لجزيئات الماء كما يلي:



أيون
الكلوريد السالب

وأيون الصوديوم الموجب في المحلول المائي وهو مُحاط بالطرف السالب قليلًا لجزيئات الماء:



أيون الصوديوم الموجب

قابلية ذوبان كلوريد الصوديوم هي التي تجعل الملح مادة حافظة جيدة لأنَّه يجذب جزيئات الماء. يحفظ الملح اللحوم والأسماك من خلال إزالة الماء من الأنسجة. فإذا ما وُجدت بيئة تتسم بنقص كبير في مستويات الماء وارتفاع هائل لجزيئات الملح، تجد البكتيريا المسببة للتحلل نفسها عاجزة عن الاستمرار في البقاء. استُخدمت كمية كبيرة من الملح بهذه الطريقة لمنع الطعام من التحلل أكثر من استخدامها عمدًا لتعزيز النكهات. في المناطق التي يأتي فيها ملح

الطعام بصورةٍ أساسية من اللحوم[1]، تُصبح إضافة الملح لحفظ الطعام عاملًا أساسيًّا في الحفاظ على الحياة. أما الطرق التقليدية الأخرى لحفظ الأغذية، كالتدخين والتجفيف، فإنها تتطلب في كثير من الأحيان استخدام الملح بوصفه جزءًا من العملية. يُنقع الطعام في محلول ملحي قبل التدخين الفعلي أو التجفيف. أمَّا المجتمعات التي لم يتوافر لديها أي مصدر محليّ للحصول على الملح، فظلت تتحين الفرص للحصول على إمدادات منه عن طريق حركة التجارة.

حاجة الجسد إلى الملح

منذ أقدم العصور، حتى لو لم تستدع الحاجة المُلحة إلى الملح لحفظ الطعام، أدرك البشر ضرورة إضافة الملح إلى نظامهم الغذائي. تلعب الأيونات الموجودة في الملح دورًا أساسيًا في جسم الإنسان، وذلك لأنَّها تُحافِظ على توازن الإلكتروليت بين الخلايا والسوائل المحيطة بالخلايا. تشمل العملية التي تولد النبضات الكهربائية التي تنتقل عبر الخلايا العصبية في الجهاز العصبي ما يسمى بمضخة الصوديوم والبوتاسيوم. تُدفع أيونات Na^+ (الصوديوم) إلى خارج الخلية أكثر من ضخ أيونات K^+ (البوتاسيوم) إليها، مما يؤدي إلى أن تتكون شحنة سالبة صافية من السيتوبلازم داخل الخلية مقارنة بالجزء الخارجي من غشاء الخلية. وهكذا يتولد فرق في الشحنة -يُعرف هذا الفرق بالجهد

---

(1) ملحوظة المترجمة: يوجد في اللحوم نسبة معينة من الملح، وهو ما تعتمد عليه شعوب تلك المناطق.

الغشائي- الذي يغذي النبضات الكهربائية. ولذلك فإن الملح أمر حيوي لعمل الأعصاب وحركة العضلات في نهاية المطاف.

أمَّا جزيئات الجليكوسيد التي تُعالج القلب، مثل الديجوكسين والديجيتوكسين الموجود في نبتة قفاز الثعلب، فإنها تمنع عملية مضخة الصوديوم والبوتاسيوم، مما يؤدي إلى إدخال كميات أعلى من أيونات الصوديوم داخل الخلية. وهو بدوره هذا في النهاية يؤدي إلى زيادة القوة الانقباضية لعضلات القلب ويفسر نشاط هذه الجزيئات واستخدامها على أنَّها مُنشِّطات للقلب. دعت الحاجة أيضًا إلى استخدام أيون الكلوريد الموجود في الملح في الجسم لإنتاج حمض الهيدروكلوريك، وهو مكون أساسي للعصارات الهضمية في المعدة.

يتغير تركيز الملح لدى الشخص السليم بمقدار ضئيل جدًّا. لا بُدَّ من استبدال الملح المفقود؛ لا بُدَّ أن يُفرز الملح الزائد[1]. يتسبب الحرمان من الملح في فقدان الوزن والشهية، والنوبات التشنجية، والغثيان، والخمول والشَّلل، ويمكن أن يؤدي، في الحالات القصوى عندما يُستنفد الملح من الجسم -كما هو الحال مع عدائي الماراثون- إلى انهيار الأوعية الدموية والوفاة. ومع ذلك، فمن المعروف أن تناول أيونات الصوديوم الزائدة له أن يُسهم في ارتفاع ضغط الدم، وهو عامل مهم لأمراض القلب والأوعية الدموية، واضطرابات الكُلَى والكَبد.

---

(1) ملحوظة المترجمة: تعني العبارة أنَّه إذا ما فُقد كثير من الملح عند التعرُّق أو في البول، أو غيرهما، يجب تعويض هذه الكمية المفقودة، أمَّا إذا ما أُدخلت كمية كبيرة من الملح، أكبر من المعتاد، فإن الجسم يُفرزها في صورة عرق أو تخرج مع البول.

يحتوي جسم الإنسان العادي على حوالي أربع أوقيات من الملح[1]؛ نفقد الملح بصورة مستمرة، ونفقده بصورة أساسية من خلال العرق والإفرازات في البول، ولذلك يتعين علينا تعويضه بصفة يوميَّة. كان إنسان ما قبل التاريخ يسد حاجته الغذائية من الملح من لحوم الحيوانات التي تتغذى على العشب التي اصطادها وذاك كان اعتماده إلى حدٍ كبير، لأن اللحوم النيئة هي مصدر ممتاز للملح. لكن مع تطور الزراعة وتحوّل الحبوب والخضروات إلى أن تصير جزءًا أكبر من النظام الغذائي، دعت حينها حاجة إلى استخدام ملح إضافيّ. في حين أن الحيوانات آكلة اللحوم لا تسعى إلى لعق الملح، فإن الحيوانات التي تتغذى على العشب تحتاج إلى القيام بذلك. جميع البشر في أجزاء من العالم الذين يتناولون كميات قليلة من اللحوم وكذلك النباتيون يحتاجون إلى إضافة الملح إلى طعامهم. الملح الإضافي، وهو ما أصبح ضروريًا بمجرد أن يتبنى البشر أسلوب حياة زراعي مستقر، لا بُدَّ من الحصول عليه محليًّا أو من خلال حركة التجارة.

فرض الضرائب على الملح

أفضت حاجة الإنسان إلى الملح، بالإضافة إلى طرق إنتاجه المحددة، إلى أن يتحول هذا المعدن تاريخيًّا على نحو خاص ليُصبح مادة مناسبة لفرض السَّيطرة السياسية والاحتكار وفرض الضرائب. بالنظر إلى الحكومات، فإن فرض ضريبة على الملح من شأنه أن يدر دخلًا يمكن

(1) ملحوظة المترجمة: الأوقية (الأونصة) تساوي تقريبًا 28.35 جرام، يعني أنَّ الجسم العادي يحتوي على 113.4 جرام تقريبًا. لكن وفقًا إلى ما اطلعتُ عليه، فإن متوسط نسبة الملح في جسم الشخص البالغ هو 250 جرام، أقل من 9 أوقيات.

الاعتماد عليه. لم يتوافر قديمًا بديل للملح، وظلَّ الجميع في حاجة إليه، لذلك تحتم على الجميع أن يدفعوا مقابل الحصول عليه. لكن مصادر الملح معروفة. لذا من الصعب إخفاء إنتاج الملح، كما أنَّ الملح نفسه ضخم ويصعب إخفاؤه، فيمكن تنظيم نقله وفرض الضرائب عليه بسهولة. منذ عام 2000 قبل الميلاد. وفي الصين، عندما أمر الإمبراطور هسيا يو بتزويد البلاط الإمبراطوري بالملح من مقاطعة شانتونج، وخلال العصور التالية، درَّ الملح ربحًا للحكومات من خلال فرض الضرائب والرسوم والتعريفات الجمركية. في العصور التوراتية، صُنِّف الملح على أنَّه من التوابل وخضع للضريبة على أنَّه ضمن هذا التصنيف، لكنه خضع أيضًا للرسوم الجمركية في الكثير من أماكن التوقف على طول طرق القوافل. بعد وفاة الإسكندر الأكبر في عام 323 قبل الميلاد، استمر المسؤولون في سوريا ومصر في تحصيل ضريبة الملح التي فرضتها الإدارة اليونانية من البدايةِ.

على مدار هذه القرون كلها، كانت عملية جمع الضرائب تتطلب وجود جُباة الضرائب ومحصليها، وقد أصبح الكثير منهم أثرياء بسبب زيادة معدلات الضرائب، وإضافة رسوم إضافية، وإعفاءات البيع. ولم تكن روما استثناءً. في الأصل، استولت الدولة الرومانية على أعمال الملح في أوستيا في دلتا نهر التيبر، وبذلك يُمكن توفير الملح بأسعار معقولة للجميع. على أنَّ مثل هذا السخاء لم يدم طويلًا. شكلت عائدات فرض الضرائب على الملح إغراءً كبيرًا صعب تجاهله، ففرضت تعريفة على الملح. مع توسع الإمبراطورية الرومانية، توسعت أيضًا احتكارات الملح وفرض الضرائب عليه.

عملِ جباة الضرائب، وهم وكلاء مستقلون يشرف عليهم حاكم كل مقاطعة رومانية، على فرض الضرائب حيثما استطاعوا. أمَّا أولئك الذين عاشوا بعيدًا عن المناطق المنتجة للملح، فإن ارتفاع تكلفة الملح لم يعكس تكاليف النقل فقط، بل أيضًا التعريفات والضرائب والرسوم في كل خطوة على الطريق.

استمر، على مدار العصور الوسطى في أوروبا، فرض الضرائب على الملح، وفي كثير من الأحيان يتم ذلك في صورة رسوم مفروضة على الصنادل البحرية[1] أو عربات النَّقل التي تحمل الملح من مناجم الملح أو مصانع الإنتاج الساحلية. وصلت إلى ذروتها في فرنسا مع ضريبة الملح سيئة السمعة والقمعية والمكروهة المعروفة باسم *جابل* تختلف الشواهد حول أصل ضريبة الجابل. تقول بعض الروايات إن شارل أنجو في بروفانس فرضها في عام 1259، وتقول روايات أخرى إنها بدأت على أنَّها ضريبة عامة مطبقة على سلع مثل القمح والنبيذ والملح في أواخر القرن الثالث عشر للمساعدة في الحفاظ على تكوين صفوف جيش دائمة. ومهما كان أصلها الحقيقي، فقد أصبحت الجابل بحلول القرن الخامس عشر واحدة من الرسوم الوطنية الرئيسة في فرنسا، أمَّا اسمها، فيعني ضريبة الملح.

لكن الجابل لم تكن مجرد ضريبة على الملح. بل إنَّها نصت على اشتراط أن على كل رجل وامرأة وطفل فوق سن الثامنة شراء كمية أسبوعية من الملح بالسعر الذي يحدده الملك. لم يقتصر الأمر على

---

(1) ملحوظة المترجمة: الصنادل البحرية هي قوارب مُسطحة تُستخدم لنقل البضائع، وتُعرف أيضًا باسم العبَّارات.

زيادة ضريبة الملح نفسها فحسب، بل كان من الممكن أيضًا زيادة الحصة الإلزامية بناءً على رغبة الملك وهواه. فما كان المقصود منه ذات يوم أن يصير ضريبة موحدة على السكان سرعان ما أدى إلى فرض عقوبات أكبر على بعض مناطق فرنسا مقارنة بمناطق أخرى. على نحوٍ عام، فإنَّ تلك المقاطعات التي حصلت على الملح من أعمال إنتاج الملح في المحيط الأطلسي خاضعة لضريبة *لا جراندي جابل*[1]، أي أكثر من ضعف ما يُدفع في مناطق أخرى -المعروفة باسم *مقاطعات لا بيتيي جابل*- التي توافر فيها الملح من أعمال إنتاج الملح في البحر الأبيض المتوسط. من خلال النفوذ السياسي أو ترتيبات المعاهدات، تحققت إعفاءات لبعض المناطق من *الجابل* أو لم تُدفع سوى جزء بسيط منها؛ في بعض الأحيان لم تُفرض الجابل في منطقة بريتاني وفُرِضت بمعدل قليل في منطقة نورماندي. أمَّا وقت ذروة هذه الضريبة، فرفعت الجابل سعر الملح أكثر من عشرين ضعف التكلفة الحقيقية لمواطني *مقاطعة لا جراندي جابل*

ظلَّ محصّلو ضرائب الملح -الذين يُشار إليهم بمزارعي الجابل، وذلك لأنهم كانوا يحصدون الضرائب من الناس- يراقبون استخدام الفرد للملح لضمان الوفاء بالتزامات الاستهلاك. انتشرت محاولات تهريب الملح على الرغم من وضع العقوبات الصارمة على اكتشاف الملح المهرب. والعقوبة الشائعة في مثل هذه الحالات هي الحكم على السُّفن القوادس. لحق بالمزارعين والفلاحين وسكان المدن الفقراء

---

(1) ملحوظة المترجمة: يعني التوصيف أو الاسم المناطق التي تخضع لضرائب جابل عالية.

الضرر الأكبر من سياسة الجابل القاسية والمطبقة تطبيقًا غير عادل. لم تلق مناشدات الملك للإعفاء من هذه الضريبة المرهقة آذانًا صاغية، ويُقترح أن الجابل كانت إحدى المظالم الرئيسية المسؤولة عن الثورة الفرنسية. وقد أُلغيت في ظلِّ ذروة الثورة في عام 1790، كما أُعدم أكثر من ثلاثين من محصلي الجابل. على أنَّ هذا الإلغاء لم يدم. في عام 1805، أعاد نابوليون فرض الجابل، وهو الإجراء الذي ادعى أنه ضروري لدفع ثمن حربه ضد إيطاليا. ولم يتحقق القضاء عليه نهائيًّا إلا بعد الحرب العالمية الثانية.

فرنسا ليست الدولة الوحيدة التي كانت فيها هذه الضرائب المفروضة على ضروريات الحياة مرهقة. في أسكوتلندا الساحلية، وبخاصة حول فيرث أوف فورث، أنتج الملح لعدة قرون قبل فرض الضرائب عليه. لم يكن التبخر بالطاقة الشمسية ممكنًا في المناخ البارد الرطب؛ غُلِيَت مياه البحر في أوعية كبيرة، بالاستعانة في الأصل بنيران مشتعلة من الحطب ثم بعد ذلك من إشعال الفحم. بحلول القرن الثامن عشر الميلادي، بُنِيَ هناك أكثر من 150 من هذه المصانع الملحية في أسكوتلندا، بالإضافة إلى الكثير من الممالح الأخرى التي اعتمدت على إشعال الفحم الخُثي لإنتاج الملح. وجد الإسكتلنديون في صناعة الملح أهمية قصوى إلى درجة أن المادة الثامنة من معاهدة الاتحاد المبرمة بين أسكوتلندا وإنجلترا في عام 1707 ضمنت لأسكوتلندا إعفاءً لمدة سبع سنوات من ضرائب الملح الإنجليزية وبعد ذلك معدلًا مخفضًا إلى الأبد. اعتمدت صناعة الملح في إنجلترا على استخراج الملح من الماء المالح وكذلك استخراج الملح

الصخري. كلتا الطريقتين أكثر كفاءة وربحية بكثير من طريقة مياه البحر التي تعمل بالفحم في الإنتاج الاسكتلندي. احتاجت الصناعة في أسكوتلندا إلى إعفاء من ضرائب الملح الإنجليزية من أجل البقاء.

في عام 1825، أصبحت المملكة المتحدة أول دولة تَلْغِي ضريبة الملح، ليس بسبب الاستياء الذي ولّدته هذه الضريبة بين أفراد الطبقة العاملة على مر القرون، بل بسبب إدراك أن دور الملح قد تغير. عادة ما يُنظر إلى الثورة الصناعية على أنها ثورة ميكانيكية، مثل تطور المكوك الطائر، آلة الغزل جيني، والإطار المائي، والمحرك البخاري، والنول الكهربائي، ولكنها كانت أيضًا ثورة كيميائية. دعت الحاجة إلى إنتاج المواد الكيميائية على نطاق واسع لصناعة النسيج، والتبييض، وصناعة الصابون، وصناعة الزجاج، والفخار، وصناعة الصلب، والمدابغ، وصناعة الورق، وصناعات التخمير والتقطير. كما ضغط المصنعون وأصحاب المصانع من أجل إلغاء ضريبة الملح لأن الملح أصبح أكثر أهمية بشكل كبير بصفته مادة أولية في عمليات التصنيع أكثر من استخدامه مادة حافظة ومكملًا غذائيًّا عند الطهي. وهكذا فإن إلغاء ضريبة الملح، الذي سعت إليه أجيال من الفقراء، لم يصبح حقيقة إلا عندما أُدرك أنَّ الملح مادة خام رئيسة للازدهار الصناعي في بريطانيا.

لم يمتد موقف بريطانيا المستنير عن ضرائب الملح إلى مستعمراتها. في الهند، أصبحت ضريبة الملح التي فرضتها بريطانيا رمزًا للقمع الاستعماري الذي استغله المهاتما غاندي وانتهزه فرصة في أثناء قيادته لحركة النضال من أجل استقلال الهند. ضريبة الملح في الهند أكثر من مجرد ضريبة في ذلك الحين. كما اكتشف الكثير من الغزاة على

مر القرون، فإن السيطرة على إمدادات الملح تعني السيطرة السياسية والاقتصادية. جعلت اللوائح الحكومية في الهند البريطانية بيع الملح أو إنتاجه بعيدًا عن الحكومة جريمة جنائية. حتى جمع الملح المتكون من خلال التبخر الطبيعي حول برك الصخور على ساحل البحر كان محظورًا. لا بد من شراء الملح، الذي ظلَّ يُستورد أحيانًا من إنجلترا، من وكلاء الحكومة بأسعار يحددها البريطانيون. في الهند، التي فيها النظام الغذائي نباتي بصورةٍ أساسية، وحيث إن المناخ شديد الحرارة يؤدي في كثير من الأحيان إلى فقدان الملح في صورة تعرّق، كان من المهم تحديدًا إضافة الملح إلى الطعام. في ظل الحكم الاستعماري، أُجبر السكان على دفع ثمن المعدن الذي كان الملايين قادرين بصورة طبيعية على جمعه أو إنتاجه بأنفسهم بتكلفة قليلة أو من دون تكلفة.

في عام 1923، بعد مرور ما يقرب من قرن من الزمان على إلغاء بريطانيا ضريبة الملح على مواطنيها، تضاعفت ضريبة الملح في الهند. في مارس 1930، بدأ غاندي ورفقة من أنصاره مسيرة طولها 240 ميلًا إلى قرية داندي الصغيرة، على الساحل الشمالي الغربي للهند. انضم الآلاف إلى الحج، وبمجرد وصولهم إلى الشاطئ، عملوا على جمع قشور الملح من الشاطئ، وغلي مياه البحر، وبيع الملح الذي ينتجونه. انضم آلاف آخرون لكي يخترقوا قوانين الملح؛ كما بيع الملح غير القانوني في القرى والمدن في جميع أنحاء الهند وفي كثير من الأحيان صادرته الشرطة. كثيرًا ما تعرض أنصار غاندي للمعاملة الوحشية على أيدي عناصر الشرطة، كما سُجِنَ الآلاف. أخذ آلاف آخرون أماكنهم في صنع الملح. وتلا ذلك إضرابات ومقاطعات

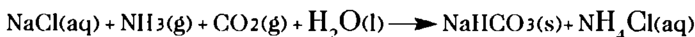
ومظاهرات. بحلول شهر مارس التالي، جرى تعديل قوانين الملح الصارمة في الهند: حيث سُمح للسكان المحليين بجمع الملح أو تصنيعه من مصادر محلية وبيعه للآخرين في قراهم. وعلى الرغم من استمرار تطبيق الضريبة التجارية، فقد كُسِرَ احتكار الحكومة البريطانية للملح. كما أثبتت مُثُل غاندي المتمثلة في العصيان المدني السلمي فعاليتها، وأصبحت أيام الحكم البريطاني معدودة.

الملح بصفته مادة أولية

لم تقتصر أهمية إلغاء ضريبة الملح في بريطانيا على تلك الصناعات التي تستخدم الملح بصفته جزءًا من عمليات التصنيع، ولكن أيضًا للشركات التي تصنع مواد كيميائية غير عضوية، وذلك لأنَّ الملح وُظِّف مادة أساسية رئيسة. بل إن ذلك مهم على نحوٍ خاص لمركب صوديوم آخر، وهو كربونات الصوديوم (Na_2CO3)، المعروف باسم رماد الصودا أو صودا الغسيل. يُحصل على رماد الصودا، المستخدم في صناعة الصابون والمطلوب بكميات كبيرة مع زيادة الطلب على الصابون، بصورةٍ أساسية من الرواسب الطبيعية، في كثير من الأحيان تلك الرواسب هي قشور موجودة حول البحيرات القلوية الجافة أو من بقايا عشب البحر المحترق والأعشاب البحرية الأخرى. استُخرج رماد الصودا من هذه المصادر غير نقي وبإمدادات محدودة، لذا فإن إمكانية إنتاج كربونات الصوديوم من الإمدادات الوفيرة من كلوريد الصوديوم جذبت الانتباه. في تسعينيات القرن الثامن عشر، حصل أرشيبالد كوكرين، الإيرل التاسع لدوندونالد -الذي يُنظر إليه الآن على أنَّه أحد قادة الثورة الكيميائية في بريطانيا

ومؤسس صناعة القلويات الكيميائية، والذي كانت ممتلكاته العائلية المتواضعة في فيرث أوف فورث في أسكوتلندا تحدها الكثير من أحواض الملح التي تعمل بالفحم، حصل على براءة اختراع لتحويل الملح إلى «قلويات اصطناعية»، لكن عمليته لم تحقق نجاحًا تجاريًا قط. في فرنسا في عام 1791، طور نيكولا لوبلان طريقة لتصنيع كربونات الصوديوم من الملح وحمض الكبريتيك والفحم والحجر الجيري. أدى نشوب الثورة الفرنسية إلى تأخير عملية لوبلان، لذا بدت إنجلترا هي المكان الذي بدأ فيه تصنيع رماد الصودا الذي أدرَّ ربحًا.

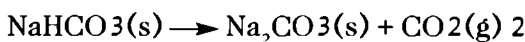
في بلجيكا في أوائل ستينيات القرن التاسع عشر، توصَّل الأخوان إرنست وألفريد سولفاي إلى طريقة مُعدلة ومتطورة لتحويل كلوريد الصوديوم إلى كربونات الصوديوم باستخدام الحجر الجيري ($CaCO_3$) وغاز الأمونيا (NH_3). الخطوات الأساسية هي تكوين راسب بيكربونات الصوديوم ($NaHCO_3$) من محلول مركز من الماء الملحي، مملوء بغاز الأمونيا وثاني أكسيد الكربون (من الحجر الجيري):



$$NaCl(aq) + NH_3(g) + CO_2(g) + H_2O(l) \longrightarrow NaHCO_3(s) + NH_4Cl(aq)$$

كلوريد الصوديوم	غاز الأمونيا	ثاني أكسيد الكربون	جزيء الماء	بيكربونات الصوديوم	كلوريد الأمونيوم

ومن ثم إنتاج كربونات الصوديوم عن طريق تسخين بيكربونات الصوديوم:



$$NaHCO3(s) \longrightarrow Na_2CO3(s) + CO2(g)\ 2$$

ثاني أكسيد الكربون   كربونات الصوديوم   بيكربونات الصوديوم

واليوم تظل عملية سولفاي هي الطريقة الرئيسة لتحضير رماد الصودا الاصطناعي، ولكن اكتشافات رواسب ضخمة من رماد الصودا الطبيعي -على سبيل المثال، يتوافر في حوض النهر الأخضر في وايومنغ موارد من رماد الصودا تقدر بأكثر من عشرة مليارات طن- هو ما أدى إلى نقص الطلب على رماد الصودا الذي يُحَضَّر من الملح.

كما أَنَّه يوجد مركب صوديوم آخر، وهو الصودا الكاوية (NaOH)، ازداد الطلب عليه أيضًا منذ فترة طويلة. صناعيًّا، تُصنَّع الصودا الكاوية أو هيدروكسيد الصوديوم عن طريق تمرير تيار كهربائي عبر محلول كلوريد الصوديوم، وهي عملية تعرف بالتحليل الكهربائي. الصودا الكاوية إحدى المواد الكيميائية العشر الأكثر إنتاجًا في الولايات المتحدة، وهي ضرورية في استخلاص معدن الألومنيوم من خامه وفي صناعة الرايون والسلوفان والصابون والمنظفات والمنتجات البترولية والورق واللب. أمَّا غاز الكلور، الذي يُنتج أيضًا في أثناء التحليل الكهربائي للمحلول الملحي، فهو في الأصل منتج ثانويّ للعملية، ولكن سرعان ما اكتشف أن الكلور عامل تبييض ممتاز ومطهر قويّ. أصبح إنتاج الكلور اليوم سببًا للتحليل الكهربائي التجاري لمحاليل كلوريد الصوديوم مثل إنتاج ملح كلوريد الصوديوم NaOH. يستخدم الكلور الآن في صناعة

الكثير من المنتجات العضوية، مثل المبيدات الحشرية والبوليمرات والمستحضرات الصيدلانية.

من القصص الخيالية إلى الأمثال المكتوبة، ومن الأساطير الشعبية السويدية إلى أساطير هنود أمريكا الشمالية، تحكي مجتمعات مختلفة حول العالم قصصًا عن الملح. يُستخدم الملح في الاحتفالات والطقوس، فهو يرمز إلى الضيافة والحظ السعيد، ويحمي من الأرواح الشريرة وسوء الحظ. كما يظهر الدور المهم للملح في تشكيل الثقافة الإنسانية على مستوى اللغة. مثلًا إننا نتقاضى راتبًا[1]،الكلمة مُشتقة من مصطلح يعكس حقيقة أن الجنود الرومان كانوا يتقاضون رواتبهم في كثير من الأحيان بالملح. الكلمات التي نستعملها كالسَّلطة[2] (التي كانت في الأصل تُقدم بإضافة الملح إليها فقط)، والصُوص، والصلصة، والسجق، والسلامي، كلها تأتي من الجذر اللاتيني نفسه. كما هو الحال في اللغات الأخرى، صار خطابنا اليومي «مُملحًا» بالاستعارات: «مِلاحُ الأرض»[3]، «مَلّاح قديم[4]»،

---

(1) ملحوظة المترجمة: كلمة راتب في الإنجليزية Salary (سالاري) أصلها اللاتيني salarium (سالاريوم)

(2) ملحوظة المترجمة: الكلمات بالإنجليزية على الترتيب الذي جاء في النص: Salad، Sauce، Salsa، Sausage، Salami.

(3) ملحوظة المترجمة: التعبير بالإنجليزية "Salt of the earth"، ويُشير إلى وصف النَّاس الذين يتميزون باللطف والرقة والأمانة؛ خِيار الناس. وكلمة مِلاح المستخدمة جمع مليح أي الحسن.

(4) ملحوظة المترجمة: التعبير بالإنجليزية: "Old salt"، وتعني البّحار المحنك الخبير.

«يستحق ملحه[1]»، «أسفل الملح[2]»، «بشيء من الامتلاح[3]»، «العودة إلى منجم الملح.[4]»

أمَّا أعجب المفارقات في قصة الملح فهي أنه على الرغم من كل الحروب التي نشبت من أجله، وعلى الرغم من كل المعارك والاحتجاجات على الضرائب والرسوم المفروضة عليه، وعلى الرغم من هجرات النَّاس بحثًا عنه، وعلى الرغم من يأس مئات الآلاف من المسجونين بسبب تهريبه، بحلول الوقت الذي أدى فيه اكتشاف رواسب الملح الجديدة تحت الأرض والتكنولوجيا الحديثة إلى انخفاض سعره بشكل كبير، فإن الحاجة إلى استخدام الملح في حفظ الأغذية قد تضاءلت فعليًّا إلى حد كبير، وأصبح التبريد الطريقة القياسية لمنع تحلل الطعام. هذا المركب الذي لاقى التكريم والتبجيل والاحتفاء على مر التاريخ، وازدادت الرغبة فيه وجرت المنازعات من أجلّ الحصول عليه، وفي بعض الأحيان وصلت قيمته إلى درجة أعلى من قيمة الذهب، صار الآن متاحًا ومتوافرًا يُباع بثمن رخيصٍ، بل إنه صار شائعًا ومنتشرًا كذلك.

---

(1) ملحوظة المترجمة: التعبير بالإنجليزية: "Worth his salt" ويعني أنَّ هذا الشخص جدير بما حصل عليه، أو يستحق الاحترام.

(2) ملحوظة المترجمة: التعبير بالإنجليزية: "below the salt" ويعني أنَّ الشخص في طبقة اجتماعية دُنيا.

(3) ملحوظة المترجمة: التعبير الإنجليزي: "with a grain of salt"، وتعني بشيء من التحفظ والشَّك، أمَّا الكلمة المستخدمة: امتلاح، فمن الفعل امتلح أي خلط كذبًا بصدق.

(4) ملحوظة المترجمة: التعبير الإنجليزي: "Back to the salt mine"، وهو يعني استئناف عمل شاق، ويُقال على سبيل التندر أو السخرية.

الفصل السادس عشر

مركبات الكلوروكربون

في عام 1877، أبحرت السفينة *فريجوريفيك* من ساحل بوينس آيرس إلى ميناء روان الفرنسي وعلى متنها شحنة من لحم البقر الأرجنتيني. على الرغم من أنَّه قد يُنظر إلى هذا الإبحار اليوم على أنه فعل روتينيّ، فإنَّه في حقيقة الأمر رحلة تاريخية. وكانت السفينة تحمل حمولة مبردة هي في حقيقتها إيذانًا ببداية عصر التبريد ونهاية حفظ الأغذية باستخدام جزيئات التوابل والملح.

الحفاظ على البرودة

منذ عام 2000 قبل الميلاد على الأقل، استفاد الناس من استخدام الجليد للحفاظ على برودة الأشياء، وفي ذلك استناد إلى مبدأ أن الجليد الصلب يمتص الحرارة من المناطق المحيطة به في أثناء ذوبانه. وبعد ذلك يُصرَّف الماء السائل الناتج، ثم يُضاف مدد جديد من الجليد. التثليج، من ناحية أخرى، لا يشمل تحول المواد الصلبة إلى مواد سائلة وبل إنه مراحل من تحول المادة السائلة إلى بخار. عندما يتبخر السائل، فإنه يمتص الحرارة من البيئة المحيطة به. ثم يعود البخار الناتج عن عملية التبخير إلى الحالة السائلة عن طريق الضغط. يُشار إلى مرحلة الضغط هذه في عملية التبريد بإضافة البادئة re إلى كلمة

refrigeration[1]؛ وذلك لأنَّ البخار يتحول إلى سائل من جديد، ثُمَّ يتبخر مرة أخرى مسببًا التبريد، ثم تُكرر الدورة تباعًا. أحد المكونات الرئيسة لهذه الدورة هو مصدر الطاقة لتشغيل الضاغط الميكانيكي. أمَّا صندوق الثلج ذو الطراز القديم، الذي تطلب إضافة الثلج إليه بصفة مستمرة، فمن الجانب التقني لم يكن مُبرِّدًا. في كثير من الأحيان نستخدم اليوم كلمة «يُبرِّد» لتعني «أن يجعل الشيء باردًا أو يحافظ على برودته» من دون التفكير في كيفية عمل دورة التبريد.

يحتاج المبرد الفعلي الحقيقي إلى مائع تبريد، وهو مركب يخضع لدورة التبخر والضغط. في وقت مبكر من عام 1748، وقع الاستخدام على مادة الأثير لإثبات تأثير التبريد لمائع التبريد، ولكن مرَّ أكثر من مئة عام قبل أن يُستخدم آلة الأثير المضغوط وتُصبح مُبرِّدًا. وفي حوالي عام 1851، عمل جيمس هاريسون، وهو مخترع إسكتلندي هاجر إلى أستراليا في عام 1837، على صناعة مبرد يعمل بضغط البخار معتمدًا في ذلك على الأثير وذلك لاستخدام المُبرد في مصنع إعداد جعة أسترالي. ويُنظر إليه هو والأمريكي ألكسندر توينينج، اللذين صنعا نظام تبريد مماثل بضغط البخار في الوقت نفسه تقريبًا، على أنَّهما من بين أوائل المطورين لأنظمة التبريد التجارية.

استُخدم مركب الأمونيا على أنَّه مبرد في عام 1859، على يد فرديناند كاريه من فرنسا، وهو صاحب حقّ آخر يستحق لقب أول مطور في عملية التبريد التجارية. كما وقع الاستخدام على كلوريد

---

(1) ملحوظة المترجمة: الكلمة تعني التبريد أو التثليج بالإنجليزية، أمَّا الكلمة العربية تبريد فهي على وزن تفعيل وتُفيد المعنى نفسه من التكرار.

الميثيل وثاني أكسيد الكبريت في هذه الأيام الأولى؛ استُخدم ثاني أكسيد الكبريت عامل التبريد لأول حلبة تزلج صناعية في العالم. هذه الجزيئات الصغيرة أنهت نهاية فعَّالة الاعتماد على الملح والتوابل لحفظ الأغذية.

$C_2H_5-O-C_2H_5$	NH_3	CH_3Cl	SO_2
الإثير (إثير ثنائي الإثيل)	أمونيا	كلوريد الميثيل	ثاني أكسيد الكبريت

في عام 1873، بعد النجاح في بناء نظام تبريد بري لصناعة تعبئة اللحوم الأسترالية بالإضافة إلى مصانع الجعة، قرر جيمس هاريسون نقل اللحوم على متن سفينة مبردة من أستراليا إلى بريطانيا. لكن نظامه الميكانيكي للتبخر والضغط المعتمد على الإثير فشل في البحر. ثم في أوائل ديسمبر 1879، غادرت سفينة *إس إس ستراثليفين*، تلك التي جهّزها هاريسون، ملبورن ووصلت إلى لندن بعد شهرين ومعها أربعون طنًا من لحم البقر ولحم الضأن المجمد. نجحت عملية التبريد التي عمل هاريسون على الوصول إليها. وفي عام 1882، رُكِّب نظام مماثل على السفينة *إس إس دنيدن* ثم شُحنت أول حمولة من لحم الضأن النيوزيلندي إلى بريطانيا. على الرغم من أن سفينة فريجوريفيك في كثير من الأحيان يشار إليها على أنها أول سفينة مبردة في العالم، فإن هذا الادعاء من الناحية التقنية يُفضل أن يُنسب أكثر إلى محاولة هاريسون في عام 1873. ومع ذلك، لم تكن تلك الرحلة *الناجحة* الأولى لسفينة مبردة. فإن الرَّحلة الأولى الناجحة تُنسب نسبة صحيحة إلى سفينة *إس إس باراجواي* التي وصلت

إلى لوهافر في فرنسا في عام 1877 ومعها شحنة محمولة من لحم البقر المجمد من الأرجنتين. أمَّا من صمَّم نظام التبريد في سفينة *باراجواي* فهو فرديناند كاريه واستخدم الأمونيا بصفتها مائع تبريد.

على متن سفينة فريجوريفيك، حُوفظ على عملية «التبريد» من خلال استخدام الماء الذي تعرَّض للتبريد باستخدام الثَّلج (المخزن في غرفة مُحكمة العزل) ثم ضخه حول السفينة في الأنابيب. تعطلت مضخة السفينة في أثناء الرحلة من ميناء بوينس آيرس، وفسد اللحم قبل وصولها إلى فرنسا. وعلى الرغم من أن سفينة فريجوريفيك سبقت سفينة إس إس باراجواي بعدة أشهر، فإنها لم تكن سفينة مبردة حقيقية؛ بل إنها لا تعدو إلا أن تكون سفينة معزولة، تحافظ على الطعام مبردًا أو مجمدًا في الثلج المخزن. ما يمكن أن يُزعم هو أنَّ سفينة فريجوريفيك سفينة رائدة في نقل اللحوم المبردة عبر المحيط، حتى لو لم تكن لها ريادة ناجحة.

أيًّا كان نسبة لقب أول سفينة مُبردة إلى رحلة هو الصحيح، فإنه بحلول ثمانينيات القرن التاسع عشر، أُعدت عملية التبخر بالضغط الميكانيكي لحل مشكلة نقل اللحوم من مناطق الإنتاج في العالم إلى الأسواق الأكبر في أوروبا وشرق الولايات المتحدة. وواجهت السفن القادمة من الأرجنتين ومراعي الماشية والأغنام البعيدة في أستراليا ونيوزيلندا رحلة تستغرق شهرين أو ثلاثة أشهر عبر درجات الحرارة الدافئة في المناطق الاستوائية. لم يكن نظام التبريد البدائيّ في سفينة فريجوريفيك فعالًا. فتحلَّقت العقول حول استخدام التبريد الميكانيكي الذي ازدادت موثوقيته، مما أتاح لمربي الماشية والمزارعين

توافر وسيلة جديدة لإيصال منتجاتهم إلى الأسواق العالمية. وهكذا لعب التبريد دورًا رئيسًا في التنمية الاقتصادية في أستراليا ونيوزيلندا والأرجنتين وجنوب إفريقيا وبلدان أخرى، وذلك لأنَّ تلك العملية قللت المسافات الكبيرة بين الأسواق من مدى الاستفادة من المزايا الطبيعية للإنتاج الزراعي الوفير.

فريونات رائعة

لجزيء مائع التبريد المثالي متطلبات عملية خاصة. لا بُدَّ أن يتبخر ضمن نطاق درجة الحرارة المناسب؛ ولا بد أن يتحول إلى الحالة السائلة عن طريق الضغط، ومرة أخرى يتم ذلك ضمن نطاق درجة الحرارة المطلوبة؛ لا بُدَّ أن يمتص كميات كبيرة نسبيًّا من الحرارة في أثناء تبخره. الأمونيا والإيثير وكلوريد الميثيل وثاني أكسيد الكبريت وجزيئات مماثلة تلبي هذه المتطلبات التقنية وتعمل مبردات جيدة. لكنها إما كانت متحللة، وإمّا معرضة لخطر الحريق، وإما سامة، وإما رائحتها كريهة؛ كل هذا في بعض الأحيان.

على الرغم من مشكلات المبردات، زاد الطلب على أجهزة التبريد، التجارية والمنزلية على حد سواء. سبقت أجهزة التبريد التجارية، التي أعدت وتطورت وفقًا إلى مطالب حركة التجارة، أجهزة التبريد المنزلية بخمسين عامًا أو أكثر. أصبحت المبردات الأولى للاستخدام المنزلي متاحة في عام 1913، وبحلول العشرينيات من القرن الماضي، حلَّت تدريجيًّا محل صندوق الثلج التقليدي، المزود بالثلج من مصانع الثلج الصناعية. في بعض المبردات المنزلية المبكرة،

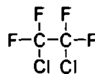
رُكبت وحدة الضاغط المزعجة في الجزء السفلي، تركيبًا منفصلًا عن صندوق الطعام.

في أثناء محاولات البحث عن إجابة للمخاوف التي أثيرت بسبب غازات التبريد السامة والمتفجرة، فإن المهندس الميكانيكي توماس ميدجلي الابن -الذي نجح نجاحًا فعليًّا في تطوير رباعي إيثيل الرصاص، وهي مادة تضاف إلى البنزين لتقليل طرق المحرك- والكيميائي ألبرت هين، الذي يعمل في شركة فريجيدير وهي فرع عن شركة جنرال موتورز، نظرا في المركبات التي من المحتمل أن يكون لها درجة غليان ضمن النطاق المحدد لدورة التبريد. معظم المركبات المعروفة التي تتوافق مع هذا المعيار كانت قيد الاستخدام فعليًّا أو تُخلص منها بوصفها غير عملية، ولكن يتبقى احتمال واحد لم يُنظر فيه، وهو مركبات الفلور. عنصر الفلور غاز شديد السمية ويسبب التآكل، ولم يجرِ تحضير سوى عدد قليل من المركبات العضوية التي تحتوي على الفلور.

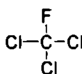
قرر ميدجلي وهيني تحضير عدد من الجزيئات المختلفة التي تحتوي على ذرة أو اثنتين من ذرات الكربون وعدد متفاوت من ذرات الفلور والكلور بدلًا من ذرات الهيدروجين. قد استوفت المركبات الناتجة، وهي مركبات الكلوروفلوروكربون (أو مركبات الكربون الكلورية فلورية (CFCs)، كما تُعرف الآن)، جميع المتطلبات التقنية لمائع التبريد استيفاءً مثيرًا للإعجاب وكانت أيضًا في حالة استقرار عالٍ، وغير قابلة للاشتعال، وغير سامة، وغير مكلفة في التصنيع، وعديمة الرائحة تقريبًا.

وبطريقة درامية مُفاجئة إلى حدٍ كبير، أثبت ميدجلي سلامة المبردات الجديدة في اجتماع عُقد في عام 1930 للجمعية الكيميائية الأمريكية في أتلانتا، في جورجيا. سكب بعضًا من مركبات الكلوروفلرو كربون السائلة في حاوية مفتوحة، وبينما كان المبرد يغلي، إذ وضع وجهه في البخار، وفتح فمه، وأخذ نفسًا عميقًا. ثمَّ تحول برأسه إلى شمعة مضاءة مسبقًا، أطلق زفيرًا ببطء من مركبات الكربون الكلورية فلورية، مما أدى إلى إطفاء لهب الشمعة؛ وهو عرض رائع وغير عادي للخصائص غير المتفجرة وغير السامة لهذا الكلوروفلوروكربون.

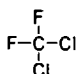
ثم بعد ذلك وقع الاختيار على استخدام عدد من جزيئات مركبات الكربون الكلورية فلورية المختلفة بصفتها مواد تبريد: ثنائي كلورو ثنائي فلورو الميثان، الذي كان يُعرف عادةً باسمه التجاري لشركة دو بونت وهو فريون 12؛ ثلاثي كلوروفلوروميثان، أو الفريون 11؛ و-2،1ثنائي كلورو2،2،1،1-،-رباعي فلورو إيثان، أو فريون 114.



فريون 114



فريون 11



فريون 12

الأرقام الموجودة في أسماء الفريون ما هي إلَّا أكواد عَمَل ميدجلي وهيني على إضافتها. الرقم الأول هو عدد ذرات الكربون مطروح منه واحد. إذا كان ناتج العملية هذه صفرًا فلن يُكتب؛ وبالتالي فإن الفريون 12 هو في الواقع فريون 012. والرقم التالي هو عدد ذرات

الهيدروجين (إن وجدت) مجموع عليه واحد. الرقم الأخير هو عدد ذرات الفلور. أي ذرات متبقية هي الكلور.

صارت مركبات الكربون الكلورية فلورية هي المبردات المثالية. بل أحدثت ثورة في مجال التبريد وأصبحت أساسًا للزيادة الهائلة في صناعة أجهزة التبريد المنزلية وبخاصة مع توصيل المزيد والمزيد من المنازل بالكهرباء. بحلول الخمسينيات من القرن العشرين، صار المُبرّد جهازًا منزليًا قياسيًا في العالم المتقدم. لم يعد التسوق لشراء الأطعمة الطازجة بصورة يومية ضروريًا. يمكن تخزين العناصر القابلة للتلف بأمان وإعداد الوجبات في وقت مبكر. ازدهرت صناعة الأغذية المجمدة. كما تطورت منتجات جديدة. وقُدمت الوجبات الجاهزة للأكل؛ وجبات العشاء في أثناء مشاهدة التلفاز. غيرت مركبات الكربون الكلورية فلورية طريقة شرائنا للطعام، وكيفية تحضيرنا له، وحتى نوع الطعام الذي نتناوله. سمح التبريد بتخزين المضادات الحيوية واللقاحات والأدوية الأخرى الحساسة للحرارة وشحنها حول العالم.

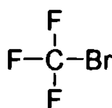
كما أن الإمداد الوافر من جزيئات موائع التبريد الآمنة أعطى الناس وسائل لتبريد شيء آخر غير الطعام، أي البيئة المحيطة بهم. لقرون كثيرة وطويلة، كان الحصول على لفحات النسائم الطبيعية، وتحريك الهواء عن طريق المراوح، واستخدام تأثير التبريد الناتج عن تبخر الماء، هي الطرق الرئيسة للتعامل مع درجة حرارة المناخات الحارة. لكن بمجرد ظهور مركبات الكربون الكلورية فلورية على الساحة، توسعت صناعة تكييف الهواء النامية توسعا سريعًا. وفي المناطق الاستوائية وغيرها من الأماكن التي يكون فيها الصيف شديد

الحرارة، جعل تكييف الهواء المنازل والمستشفيات والمكاتب والمصانع ومراكز التسوق والسيارات -في أي مكان يعيش ويعمل فيه الناس- أكثر راحة.

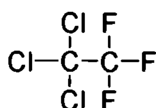
كما عُثر على استخدامات أخرى لمركبات الكربون الكلورية فلورية. بما أنهم لم يتفاعلوا مع أي شيء تقريبًا، فقد صاروا وقودًا دافعًا مثاليًّا لكل شيء تقريبًا يمكن تطبيقه من خلال علبة رذاذ الأيروسلات، بخاخات الشعر، ورغاوي الحلاقة، والكولونيا، ومستحضرات تسمير البشرة وإعطائها لونًا برونزيًّا، والكريمة المخفوقة، والجبن القابل للدهن، وملمع الأثاث، ومنظفات السجاد، ومزيلات العفن الفطري في حوض الاستحمام، والمبيدات الحشرية، ليست سوى عدد قليل من مجموعة كبيرة ومتنوعة من المنتجات التي تُدفع من خلال الثقوب الصغيرة في علب الأيروسول عن طريق توسيع بخار مركبات الكربون الكلورية فلورية.

جاء استخدام بعض مركبات الكربون الكلورية فلورية مثاليًا لأنَّها استُخدمت بصفتها عوامل رغوة في تصنيع البوليمرات الخفيفة جدًّا والمسامية المستخدمة بصفتها مواد تعبئة، ورغوة عازلة في المباني، وحاويات للوجبات السريعة، وأكواب قهوة من مادة الستايروفوم. أسهمت خصائص المذيبات لمركبات الكربون الكلورية فلورية الأخرى، مثل الفريون 113، في أن تحولها إلى منظفات مثالية للوحات الدوائر الكهربائية والأجزاء الإلكترونية الأخرى. عندما استُبدل بذرة البروم ذرة الكلور أو الفلور في جزيء مركبات الكربون الكلورية فلورية، أدى ذلك إلى إنتاج مركبات أثقل ذات

درجة غليان أعلى، مثل الفريون 13B1 (عُدِّل الرمز للإشارة إلى ذرة البروم)، وهو مناسب تمامًا للاستخدام في مطافئ الحريق.



فريون B113



فريون 113

بحلول أوائل السبعينيات، أنتج ما يقرب من مليون طن من مركبات الكربون الكلورية فلورية والمركبات ذات الصلة سنويًا. يبدو أن هذه الجزيئات كانت مثالية في الاستخدام الفعلي، ومناسبة تمامًا لأدوارها في العالم الحديث، من دون أي يتخللها عيب أو جانب سلبي. يبدو أنَّها تجعل العالم مكانًا أفضل.

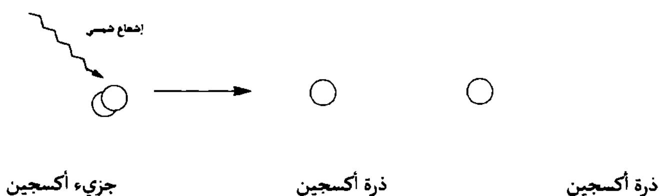
الفريونات تكشف عن جانبها المظلم

استمر لمعان مركبات الكربون الكلورية فلورية وتوهج نجمها حتى عام 1974، عندما أعلن الباحثان شيروود رولاند وماريو مولينا عن نتائج مثيرة للقلق في اجتماع آخر للجمعية الكيميائية الأمريكية في أتلانتا. وجدا أن استقرار مركبات الكربون الكلورية فلورية يمثل مشكلة غير متوقعة على الإطلاق مثيرة لإزعاج بالغ.

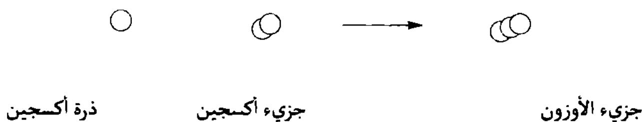
على عكس المركبات الأقل استقرارًا، فإن مركبات الكربون الكلورية فلورية لا تتحلل عن طريق التفاعلات الكيميائية العادية، وهي الخاصية التي جعلتها في الأصل آية في الجاذبية. فإنَّ مركبات

الكربون الكلورية فلورية التي تُطلق في الطبقة السفلية للغلاف الجوي، تندفع لسنوات أو حتى لعقود، ثم ترتفع في النهاية إلى طبقة الستراتوسفير، حيث تتكسر بسبب الإشعاع الشمسي. توجد داخل طبقة الستراتوسفير طبقة تمتد من حوالي خمسة عشر إلى ثلاثين كيلومترًا فوق سطح الأرض تعرف بطبقة الأوزون. قد يبدو هذا غطاء سميك إلى حد ما، ولكن لو أنَّ طبقة الأوزون نفسها موجودة عند ضغط مستوى سطح البحر، فإنها ستبلغ مليمترات فقط. وفي المنطقة المتخلخلة من طبقة الستراتوسفير، يكون ضغط الهواء منخفضًا جدًّا إلى درجة أن طبقة الأوزون تتوسع توسعًا كبيرًا.

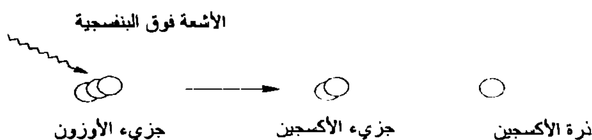
تتكون طبقة الأوزون من عنصر الأكسجين. الفرق الوحيد بين هذين الشكلين هو عدد ذرات الأكسجين في كل جزيء -الأكسجين هو O2 والأوزون هو -O3 ولكن الجزيئين لهما خصائص مختلفة تمامًا. فوق طبقة الأوزون، يكسر الإشعاع المكثف الصادر من الشمس الرابطة في جزيء الأكسجين، مما ينتج عنه ذرتي أكسجين:



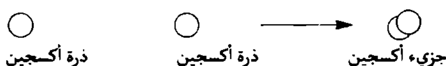
تنطلق ذرتا الأكسجين هاتان إلى طبقة الأوزون، حيث تتفاعل كل منهما مع جزيء أكسجين آخر لتكوين الأوزون:



داخل طبقة الأوزون، تتفكك جزيئات الأوزون بسبب الأشعة فوق البنفسجية عالية الطاقة لتكوين جزيء أكسجين وذرة أكسجين.

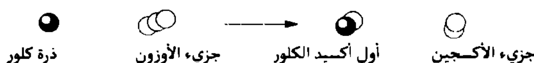


تتحد الآن ذرتان من الأكسجين لتكوين جزيء أكسجين $O2$:

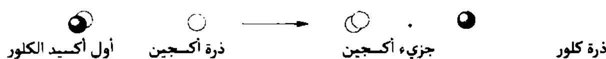


وهكذا في طبقة الأوزون يحدث تصنيع جزيء الأوزون بصورة مستمر وتكسيره كذلك باستمرار. وعلى مدار آلاف السنين، حققت هاتان العمليتان التوازن، بحيث ظل تركيز الأوزون في الغلاف الجوي للأرض ثابتًا نسبيًا. ولهذا الترتيب تبعات مهمة على الحياة على الأرض؛ يمتص الأوزون الموجود في طبقة الأوزون جزء من الطيف فوق البنفسجي القادم من الشمس وهو الأكثر ضررًا للكائنات الحية. وقد قيل إننا نعيش تحت مظلة الأوزون الذي يحمينا من إشعاعات الشمس القاتلة.

لكن نتائج بحث رولاند ومولينا أظهرت أن ذرات الكلور تزيد من معدل انهيار جزيئات الأوزون. في الخطوة الأولى، تصطدم ذرة الكلور بالأوزون لتكوين جزيء أول أكسيد الكلور (ClO)، ويترك وراءه جزيء الأكسجين:



في الخطوة التالية، يتفاعل ClO مع ذرة أكسجين لتكوين جزيء أكسجين وينتج ذرة كلور مرة أخرى:



افترض رولاند ومولينا أن هذا التفاعل الشامل يمكن أن يخل بالتوازن بين جزيئات الأوزون والأكسجين، وذلك لأنَّ ذرات الكلور تعمل على تسريع تفكك الأوزون ولكن ليس لها أي تأثير في تكوين الأوزون. أي إن ذرة الكلور، التي تُستخدم في الخطوة الأولى من انهيار الأوزون وتُنتج من جديد في الخطوة الثانية، تعمل مُحفزًا؛ أي أنها تزيد من معدل التفاعل ولكنها لا تُستهلك في حد ذاتها. هذا هو الجانب الأكثر إثارة للقلق في تأثير ذرات الكلور في طبقة الأوزون؛ ليس فقط أن جزيئات الأوزون يدمرها ذرات الكلور، ولكن يمكن لذرة الكلور نفسها أن تحفز هذا الانهيار مرارًا وتكرارًا. أشارت أحد التقديرات إلى أن كل ذرة كلور تجد طريقها إلى الغلاف الجوي العلوي عبر جزيء مركبات الكربون الكلورية فلورية، في المتوسط، سوف تدمر مئة ألف جزيء أوزون قبل أن يُبطل مفعولها. مقابل كل 1٪ من استنفاد طبقة الأوزون، قد تخترق 2٪ إضافية من الأشعة فوق البنفسجية الضارة الغلاف الجوي للأرض.

بناءً على النتائج التجريبية، توقع رولاند ومولينا أنَّ ذرات الكلور من مركبات الكربون الكلورية فلورية والمركبات ذات الصلة، عند وصولها إلى الستراتوسفير، ستعمل على تحلل طبقة الأوزون. وفي وقت إجراء أبحاثهما، كانت مليارات من جزيئات مركبات الكربون الكلورية فلورية تُطلق في الغلاف الجوي كلَّ يوم. ولذلك فإن الأخبار التي تفيد بأن مركبات الكربون الكلورية فلورية تشكل تهديدًا حقيقيًا وفوريًا لاستنفاد طبقة الأوزون وعلى صحة وسلامة جميع الكائنات الحية قد أثارت بعض ردود الفعل القلقة، ولكن استغرق الأمر عدة سنوات - ومزيد من الدراسات، والتقارير، وفرق العمل، والمتغيرات والتخلص التدريجي غير المرحلي، والحظر الجزئي- قبل أن يُفرض حظر كامل لمركبات الكربون الكلورية فلورية.

أسهمت البيانات الواردة من مصدر غير متوقع على الإطلاق في تحفيز الإرادة السياسية لحظر مركبات الكربون الكلورية فلورية. في عام 1985 أظهرت الدراسات التي أجريت في القطب الجنوبي استنزافًا متزايدًا لطبقة الأوزون فوق القطب الجنوبي. كما أنَّ احتمال أكبر لما يسمى بـ«الثقب» في طبقة الأوزون في فصل الشتاء فوق قارة غير مأهولة فعليًّا -لم يكن هناك طلب كبير على المبردات أو بخاخات الشعر في القارة القطبية الجنوبية- كان أمرًا محيرًا وأحدث بلبلة. من الواضح أن هذا يعني أن إطلاق مركبات الكربون الكلورية فلورية في البيئة كان مصدر قلق عالمي وليس مجرد مشكلة محلية. وفي عام 1987، عثرت طائرة بحثية من ارتفاعات عالية تحلق فوق المنطقة القطبية الجنوبية على جزيئات أول أكسيد الكلور (ClO) في المناطق

التي بها كمية جزيئات قليلة من الأوزون، وهو إثبات تجريبي لتنبؤات رولاند ومولينا (اللذين فازا بعد ثماني سنوات بجائزة نوبل في عام 1995 في الكيمياء لإدراكهما للتأثيرات طويلة المدى لمركبات الكربون الكلورية فلورية في طبقة الستراتوسفير والبيئة).

في عام 1987، طالبت اتفاقية تسمى بروتوكول مونتريال جميع الدول التي وقعت عليها بالالتزام بالتخلص التدريجي من استخدام مركبات الكربون الكلورية فلورية وفي نهاية المطاف فرض حظر كامل. تُستخدم اليوم مركبات الهيدروفلوروكربون والهيدروكلوروفلوروكربون بصفتها مبردات بدلًا من مركبات الكلوروفلوروكربون. وهذه المواد إما لا تحتوي على الكلور وإمَّا أنها تتأكسد بسهولة في الجو؛ وقليل منها يصل إلى مستويات الستراتوسفير العالية التي وصلت إليها مركبات الكربون الكلورية فلورية الأقل تفاعلًا. لكن البدائل الأحدث لمركبات الكربون الكلورية فلورية ليست مبردات فعالة، وتتطلب طاقة إضافية تصل إلى 3 في المئة لدورة التبريد.

لا يزال يوجد مليارات من جزيئات مركبات الكربون الكلورية فلورية في الغلاف الجوي. لم توقع جميع البلدان على بروتوكول مونتريال، وحتى في تلك البلدان التي وقعت عليه لا يزال يوجد الملايين من المبردات التي تحتوي على مركبات الكربون الكلورية فلورية قيد الاستخدام، وربما مئات الآلاف من الأجهزة القديمة المهجورة التي تتسرب منها مركبات الكربون الكلورية فلورية إلى الغلاف الجوي، حيث ستنضم إلى بقية مركبات الكربون الكلورية فلورية في رحلة بطيئة ولكن لا مفر منها للأعلى لإحداث الفوضى في

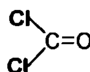
طبقة الأوزون. قد يستمر الشعور بتأثير هذه الجزيئات التي حظيت بالثناء لمئات السنين القادمة. وإذا زادت كثافة الأشعة فوق البنفسجية عالية الطاقة التي تصل إلى سطح الأرض، فإن احتمال تلف الخلايا وجزيئات الحمض النووي في هذه الخلايا -مما يؤدي إلى وجود مستويات أعلى من السرطان وزيادة معدلات الطفرات- يزداد أيضًا.

الجانب المظلم من الكلور

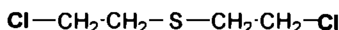
مركبات الكلوروفلوروكربون ليست المجموعة الكيميائية الوحيدة التي عُوملت على أنَّها جزيئات عجيبة عند اكتشافها لأول مرة ولكنها كشفت فيما بعد عن سمية غير متوقعة أو احتمال حدوث أضرار بيئية أو اجتماعية. لكن ما قد يثير الدهشة هو أن المركبات العضوية المحتوية على الكلور أظهرت هذا «الجانب المظلم» أكثر من أي مجموعة أخرى من المركبات العضوية. بل عنصر الكلور نفسه يُبين هذين الجانبين. يعتمد ملايين الأشخاص في جميع أنحاء العالم على معالجة إمدادات المياه الخاصة لديهم بالكلور، وفي حين أن المواد الكيميائية الأخرى قد تكون فعالة مثل الكلور في تنقية المياه، فإنها تكلفتها مرتفعة ارتفاعًا كبيرًا.

أحد أهم التطورات في مجال الصحة العامة في القرن الماضي هو الجهود المبذولة لتوفير مياه الشرب النظيفة إلى جميع أنحاء العالم؛ وهو أمر لا يزال يتعين علينا تحقيقه. من دون الكلور فإننا سنصبح أبعد بكثير عن هذا الهدف؛ ومع ذلك، فإن الكلور سام، وهي حقيقة فهمها جيدًا فريتز هابر، الكيميائي الألماني الذي جاء وصف عمله في تصنيع الأمونيا من النيتروجين في الهواء، وفي حرب الغاز، في الفصل

الخامس. أول مركب سام استخدم في الحرب العالمية الأولى هو غاز الكلور الأخضر المصفر؛ ومن أعراضه الأولية الاختناق وصعوبة التنفس. الكلور مهيج قوي للخلايا ويمكن أن يسبب تورمًا مميتًا في أنسجة الرئتين والممرات الهوائية. كما أنَّ غاز الخردل والفوسجين، وهي المركبات المستخدمة في إطلاقات الغازات السامة اللاحقة، هي أيضًا مركبات عضوية تحتوي على الكلور، ولها تأثيرات مرعبة مثل غاز الكلور. وعلى الرغم من أن معدل الوفيات بسبب التعرض لغاز الخردل ليس مرتفعًا، فلا يزال يُسبب ضررًا دائمًا للعين واختلالًا شديدًا ودائمًا في الجهاز التنفسي.



الفوسجين



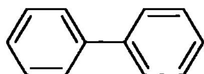
غاز الخردل

مركبات الغاز السامة التي استُخدمت في الحرب العالمية الثانية. يُشار إلى الكلور بخط سميك

غاز الفوسجين عديم اللون وشديد السمية. وهو أخبث هذه السموم؛ فهو لا يسبب تهيجًا فوريًا، لذا قد يستنشق تركيزات قاتلة منه قبل اكتشاف وجوده. تحدث الوفاة عادة عن وجود تورم شديد في أنسجة الرئتين والممرات الهوائية، مما يؤدي إلى الاختناق.

مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور: مزيد من المشكلات من المركبات المكلورة

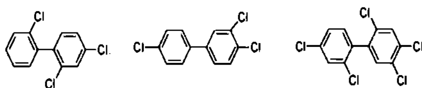
ما زال يوجد المزيد من مركبات الكلوروكربون التي لاقت الترحيب والحفاوة في البداية بوصفها جزيئات عجيبة، مثل مركبات الكربون الكلورية فلورية، التي تبين أنها تشكل خطرًا صحيًا جسيمًا. بدأ الإنتاج الصناعي لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، أو مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs) كما شاع اسمها، في أواخر عشرينيات القرن العشرين. كانت هذه المركبات مثالية للاستخدام بصفتها عوازل كهربائية ومبردات في المحولات، والمفاعلات، والمكثفات، وقواطع الدائرة، وذلك لأنها تميزت بالاستقرار الشديد، حتى في درجات الحرارة المرتفعة، وافتقرت إلى القابلية للاشتعال وذلك لاقى موضع تقدير كبير. كما وقع الخيار عليها لاستخدامها مواد ملدنة -عوامل تعزيز المرونة- في تصنيع البوليمرات المختلفة، بما في ذلك تلك المستخدمة للتغليف في الصناعات الغذائية، وفي بطانات زجاجات الأطفال، وفي فناجين القهوة المصنوعة من البولسترين. كما وجدت مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور استخدامًا في صناعة الأحبار المختلفة في أعمال الطباعة، وورق النسخ الخالي من الكربون، والدهانات، والشموع، والمواد اللاصقة، ومواد التشحيم، وزيوت المضخات الفراغية.



مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور هي مركبات حل فيها ذرات الكلور محل ذرات الهيدروجين في جزيء ثنائي الفينيل الأصلي.

جزيء ثنائي الفينيل

لهذه البنية عدد كبير من ترتيب الذرات المحتمل، اعتمادًا على عدد ذرات الكلور الموجودة ومكان وجودها على حلقات ثنائي الفينيل. توضح الأمثلة التالية نوعين مختلفين من ثنائي الفينيل ثلاثي الكلور، يحتوي كل منهما على ثلاث ذرات كلور، وواحد ثنائي الفينيل خماسي الكلور يحتوي على خمسة كلور. يُمكن ترتيبهم بأكثر من مائتي طريقة مختلفة ممكنة.



ثنائي الفينيل خماسي الكلورة — ثنائي الفينيل ثلاثي الكلورة — ثنائي الفينيل ثلاثي الكلورة

بعد وقت قصير من بدء تصنيع مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، ظهرت تقارير عن مشكلات صحية بين العاملين في مصانع هذه المركبات. أبلغ الكثيرون عن وجود حالة جلدية تُعرف الآن باسم حب الشباب الكلوري، حيث تظهر الرؤوس السوداء والبثور المتقيحة على الوجه والجسم. نعلم الآن أن العُدَّ الكلوري هو أحد

الأعراض الأولى للتسمم المنهجي بثنائي الفينيل متعدد الكلور، ويمكن أن يعقبه تلف في الأجهزة المناعية والعصبية والغدد الصماء والإنجابية، وفشل الكبد والإصابة بالسرطان. مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور ليست سوى جزيء عجيب، وهي في الواقع من بين أخطر المركبات التي صُنعت على الإطلاق. لا يكمن خطرها في سميتها المباشرة للبشر والحيوانات الأخرى فحسب، بل، مثل مركبات الكربون الكلورية فلورية، في الاستقرار نفسه الذي جعلها مفيدة إلى حدٍ كبير في المقام الأول. تظل مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور موجودة في البيئة؛ فهي تخضع لعملية التراكم الحيوي (أو التضخيم الحيوي)، حيث يزداد تركيزها على طول السلسلة الغذائية. يمكن للحيوانات التي تقع على قمة السلسلة الغذائية، مثل الدببة القطبية والأسود والحيتان والنسور والبشر، تخزين تركيزات عالية من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في الخلايا الدهنية في أجسامها.

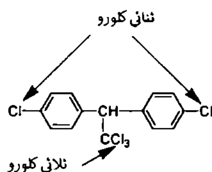
في عام 1968، لخصت حادثة مدمرة لتسمم الإنسان بثنائي الفينيل متعدد الكلور التأثيرات المباشرة لابتلاع هذه الجزيئات. أصيب 1300 من سكان كيوشو في اليابان بالمرض -في البداية بسبب حب الشباب الكلوري ومشكلات في الجهاز التنفسي والبصر- بعد تناول زيت نخالة الأرز الذي أصبح ملوثًا عن طريق الخطأ بمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور. شملت العواقب طويلة المدى العيوب الخلقية وسرطان الكبد بمعدل خمسة عشر ضعف المعدل الطبيعي. في عام 1977، حظرت الولايات المتحدة تصريف المواد المحتوية على ثنائي الفينيل متعدد الكلور في المجاري المائية. ثم حظر تصنيعها

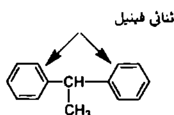
أخيرًا في عام 1979، بعد فترة طويلة من إعلان الكثير من الدراسات عن التأثيرات السامة لهذه المركبات في صحة الإنسان وصحة كوكبنا. على الرغم من اللوائح التي تتحكم في مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور، لا تزال ملايين الباوندات من هذه الجزيئات قيد الاستخدام أو في انتظار التخلص الآمن منها. ولا تزال تتسرب إلى البيئة.

الكلور في المبيدات الحشرية: من نعمة إلى نقمة إلى محظورة

لم تتسرب الجزيئات الأخرى التي تحتوي على الكلور إلى البيئة فحسب؛ بل إنها وُضعت عمدًا في البيئة في صورة مبيدات حشرية، بكميات ضخمة في بعض الأحيان، على مدى عقود، وفي الكثير من البلدان. تحتوي بعض المبيدات الحشرية الأكثر فاعلية التي اخترعت على الإطلاق على الكلور. وكان يُعتقد في البداية أن جزيئات المبيدات الحشرية شديدة الاستقرار -تلك التي تبقى في البيئة- مرغوبة. قد تستمر آثار تطبيق واحد من هذه المركبات لسنوات طويلة. ثم تبين أن هذا صحيح فعليًّا، ولكن لسوء الحظ لم تأتِ العواقب دائمًا كما هو متوقع. كان لاستخدام المبيدات الحشرية المحتوية على الكلور قيمة كبيرة للإنسانية، ولكنها تتسبب أيضًا، في بعض الحالات، في آثار جانبية غير متوقعة على الإطلاق وضارة إلى حدٍ كبير.

يوضح جزيء الـ دي.دي.تي (DDT)، أكثر من أي مبيد آفات آخر يحتوي على الكلور، التعارض بين الفوائد المحتملة والأخطار. مركب الدي.دي.تي هو مشتق من 1.1- ثنائي فينيل إيثان؛ واختصار DDT يُشير إلى اسم ثنائي كلورو-ثنائي فينيل-ثلاثي كلورو الإيثان.





ثنائي كلورو-ثنائي فينيل-ثلاثي كلورو الإيثان.

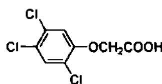
1. 1 ثنائي فينيل إيثان

حُضِّرت مادة الـ دي.دي.تي لأول مرة في عام 1874. ولم يدرك مدى فعاليتها كمبيد حشري حتى عام 1942، وذلك في الوقت المناسب لكي تُستخدم في الحرب العالمية الثانية بصفتها مسحوقًا لإزالة القمل لوقف انتشار التيفوس ولقتل يرقات الطفيليات الحاملة للمرض. استخدمت «قنابل الحشرات»، المصنوعة من علب الرذاذ الجوي المملوءة بمادة الدي.دي.تي، على نطاق واسع على يد الجيش الأمريكي في جنوب المحيط الهادئ. وجهت هذه الضربات ضربة مزدوجة للبيئة، وذلك لأنها أطلقت كميات كبيرة من مركبات الكربون الكلورية فلورية بالإضافة إلى سحب كمية من مادة الـ دي.دي.تي.

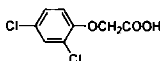
حتى قبل عام 1970، وهو الوقت الذي وقع فيه التصنيع والاستخدام لثلاثة ملايين طن من مادة الدي.دي.تي، ظهرت مخاوف بشأن تأثيرها في البيئة وتطور مقاومة الحشرات لها. تأثير الدي.دي.تي على الحياة البرية، وبخاصة الطيور الجارحة مثل النسور والصقور والصقور الباز الموجودة في قمة السلسلة الغذائية، لا يُعزى بشكل مباشر إلى مادة دي.دي.تي ولكن بدلاً من ذلك إلى

الناتج الرئيس لتحللها. كل من مادة الدي.دي.تي ونواتج التحلل مركبات قابلة للذوبان في الدهون وتتراكم في الأنسجة الحيوانية. أما في الطيور، فإن ناتج التحلل هذا يثبط الإنزيم الذي يزود قشور بيضها بالكالسيوم. وبالتالي فإن الطيور المعرضة لمادة الدي.دي.تي تضع بيضًا بقشرة هشة إلى حدٍ كبير وغالبًا ما تنكسر قبل الفقس. بدءًا من أواخر الأربعينيات، لوحظ انخفاض حاد في أعداد النسور والصقور والصقور الباز. وبذلك فإن الاضطرابات الرئيسة في التوازن بين الحشرات المفيدة والحشرات الضارة، التي أوضحتها راشيل كارسون في كتابها الصادر في عام 1962 بعنوان «Silent Spring»، يمكن إرجاعها إلى الاستخدام المكثف المتزايد لمادة الدي.دي.تي.

خلال حرب فيتنام، من عام 1962 إلى عام 1970، رُشت ملايين الجالونات من العامل البرتقالي -وهو خليط من مبيدات الأعشاب المحتوية على حمض ثنائي كلورو فينوكسي الأسيتيك (2,4-D)، وحمض ثلاثي كلورو فينوكسي الأسيتيك (2,4,5-T)- على مناطق في جنوب شرق آسيا لتدمير أوراق الشجر التي استُخدمت في حرب العصابات.



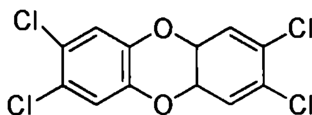
حمض ثلاثي كلورو فينوكسي الأسيتيك (T-2,4,5)



حمض ثنائي كلورو فينوكسي الأسيتيك (D-2,4)

على الرغم من أن هذين المركبين ليسا سامين بشكل خاص، فإن حمض ثلاثي كلورو فينوكسي الأسيتيك (2,4,5-T) يحتوي على آثار لمنتج جانبي كان سببًا في موجة العيوب الخلقية، والسرطانات، والأمراض

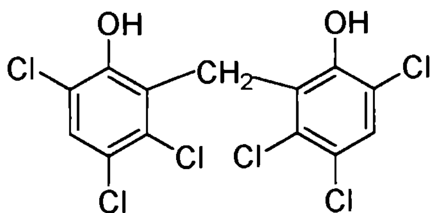
الجلدية، ونقص جهاز المناعة، وغيرها من المشكلات الصحية الخطيرة التي تؤثر في فيتنام حتى يومنا هذا. يحمل المركب المسؤول الاسم الكيميائي -8،7،3،2رباعي كلورو ثنائي بنزو ديوكسين، المعروف الآن باسم الديوكسين، على الرغم من أن الكلمة تشير في الواقع إلى فئة من المركبات العضوية التي لا تشترك بالضرورة في الخصائص الضارة لمادة -8،7،3،2 - رباعي كلورو ثنائي بنزو ديوكسين.



8،7،3،2 - رباعي كلورو ثنائي بنزو ديوكسين أو الديوكسين

الديوكسين أكثر المركبات التي يصنعها الإنسان فتكًا، على الرغم من أنه لا يزال أقل فتكًا بمليون مرة من أكثر المركبات سمية في الطبيعة، وهو توكسين البوتولينوم أ. وفي عام 1976، أدى انفجار صناعي في سيفيسو بإيطاليا إلى إطلاق كمية من مادة الديوكسين، فأسفر عن نتائج مدمرة –حب الشباب، والعيوب الخلقية، والسرطان– للسكان المحليين والحيوانات. بعد ذلك، أثبتت التقارير الإعلامية واسعة النطاق للحدث أن جميع المركبات المشار إليها باسم الديوكسينات هي مواد رسُخت في أذهان العامة على أنَّها مواد شريرة وخبيثة.

كما ظهرت مشكلات صحية للبشر غير متوقعة جراء استخدام مبيدات الأعشاب، ظهرت أيضًا مشكلات صحية بشرية غير متوقعة مع جزيء آخر مكلور، وهو سداسي كلوروفين، وهو منتج مبيد للجراثيم فعال فعالية عالية استخدم على نطاق واسع في الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي في الصابون والشامبو ومستحضرات ما بعد الحلاقة، ومزيلات العرق وغسولات الفم والمنتجات المماثلة.



Hexachlorophe

سداسي الكلوروفين

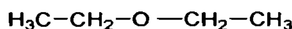
استُخدم سداسي الكلوروفين أيضًا بصورة روتينية على الرضع، ويُضاف إلى الحفاضات، ومساحيق التلك، وغيرها من مستلزمات الأطفال. ولكن في عام 1972 أظهرت الاختبارات أن استخدامه أدى إلى تلف الدماغ والجهاز العصبي في حيوانات المختبر. ثم لاحقًا فرض حظر استخدام سداسي الكلوروفين في المستحضرات التي لا تستلزم وصفة طبية ومنتجات الأطفال، ولكن نظرًا إلى فعاليته الشديدة ضد بعض البكتيريا، فلا يزال له استخدام محدود، على الرغم من سميته، في أدوية حب الشباب الموصوفة طبيًّا وفي مستحضرات التنظيف الجراحية.

الجزيئات التي تجعلك تنام

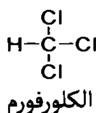
لم تكن جميع جزيئات الكلوروكربون كارثية على صحة الإنسان. وبغض الطرف عن الخصائص المطهرة للسداسي كلوروفين، فقد أثبت جزيء صغير يحتوي على الكلور أنه يعود بالخير على مجال الطب. حتى منتصف القرن التاسع عشر، ظلت الجراحة تُجرى من دون تخدير، ولكن في بعض الأحيان يُستبدل بذلك ذلك استخدام

كميات وفيرة من الكحول، اعتقادًا بأن هذا من شأنه أن يخدر الألم. وعلى ما يبدو أيضًا أن على بعض الجراحين أن يتجرعوا هذا الدواء لتقوية أنفسهم قبل أن يتسببوا في إلحاق مثل هذا الألم للمرضى. ثم في أكتوبر 1846، نجح طبيب الأسنان في بوسطن، ويليام مورتون، في إثبات استخدام الإثير كوسيلة لتحفيز التخدير، وهو فقدان مؤقت للوعي، في العمليات الجراحية. انتشرت أخبار قدرة الأثير على السماح بإجراء جراحة غير مؤلمة بسرعة، وسرعان ما جرت عمليات تقصي وبحث ونظر في مركبات أخرى لمعرفة خصائصها المخدرة.

طوَّر جيمس يونج سيمبسون، وهو طبيب إسكتلندي وأستاذ الطب والقبالة في كلية الطب بجامعة إدنبره، طريقة فريدة لاختبار المركبات التي تُصنف أنَّها مواد تخدير محتملة. يُزعم أنه طلب من ضيوفه على العشاء أن ينضموا إليه في استنشاق أنواع مختلفة من المواد. ومن الواضح أن الكلوروفورم (CHCl3)، الذي جرى تصنيعه لأول مرة في عام 1831، اجتاز الاختبار. خرَّ سيمبسون إلى أرضية غرفة الطعام بعد تجربته مع هذا المركب، وكانت رؤيته لا تزال ضبابية وكأنَّه في حالة من الغيبوبة. لم يضيع سيمبسون أي وقت في استخدام الكلوروفورم على مرضاه.



الإثير (ثنائي الإيثير)



الكلورفورم

كان لاستخدام مركب الكلوروكربون هذا على أنَّه مخدر عدد من المزايا مقارنة بالإثير: الكلوروفورم يعمل أسرع ورائحته أفضل، ويتطلب استخدام كمية أقل. علاوة على ذلك، فإنَّ الإفاقة بعد وضع مادة الكلوروفورم أسرع وأقل إزعاجًا من الإفاقة بعد استخدام الإثير. بالإضافة إلى أنَّ القابلية الشديدة للاشتعال للأثير مشكلة أيضًا. لأنَّه شكل خليطًا متفجرًا مع الأكسجين، ووجود أصغر شرارة في أثناء إجراء عملية جراحية، حتى من الأدوات المعدنية التي تصطدم معًا، يمكن أن تسبب الاشتعال.

لاقى التخدير بالكلوروفورم قبولًا بسهولة في العمليات الجراحية. على الرغم من وفاة بعض المرضى، فإن الأخطار المرتبطة به صغيرة. وبما أن الجراحة كانت في كثير من الأحيان الملاذ الأخير وبما أن المرضى يموتون أحيانًا من الصدمة في أثناء الجراحة من دون التخدير على أي حال، فقد صُنِّف معدل الوفيات على أنَّه مقبول. ولأن العمليات الجراحية كانت تُجرى بسرعة -وهي ممارسة ضرورية من دون تخدير- لم يتعرض المرضى للكلوروفورم لفترة طويلة من الزمن. تشير التقديرات إلى أنه خلال الحرب الأهلية الأمريكية أجريت ما يقرب من سبعة آلاف عملية جراحية في ساحة المعركة باستخدام الكلوروفورم، مع أقل من أربعين حالة وفاة بسبب استخدام المخدر.

اعتُرف عالميًا بالتخدير الجراحي ونُظر إليه على أنَّه تقدم كبير، لكن استخدامه في الولادة كان مثيرًا للجدل. أمَّا التحفظات المُثارة فهي طبية نسبيًّا؛ أعرب بعض الأطباء عن حق عن مخاوفهم بشأن تأثير الكلوروفورم أو الإثير في صحة الطفل الذي لم يولد بعد، مستشهدين

بملاحظات انخفاض تقلصات الرحم وانخفاض معدلات تنفس الرضيع عند الولادة تحت التخدير. لكن القضية قضية ما هو أكثر من مجرد سلامة الرضع وأمان الأمهات. كما أيدت وجهات النظر الأخلاقية والدينية الاعتقاد بأن ألم المخاض ضروري وصالح. في سفر التكوين، يُحكم على النساء، اللائي هم نسل حواء، بالمعاناة في أثناء الولادة عقابًا لعصيانها في عدن: «بالحزن تلدين أولادًا» وفقًا إلى التفسير الصارم لهذا السطر المكتوب، فإن أي محاولة لتخفيف آلام المخاض تُمثِّل تعارضًا مع إرادة الله. توجد وجهة نظر أكثر تطرفًا ساوت بين متاعب الولادة والتكفير عن الخطيئة، التي من المفترض أنها خطيئة الاتصال الجنسي، وهي الوسيلة الوحيدة لإنجاب طفل في منتصف القرن التاسع عشر.

لكن في عام 1853 في بريطانيا، أنجبت الملكة فيكتوريا طفلها الثامن، الأمير ليوبولد، بمساعدة الكلوروفورم. أدى قرارها باستخدام هذا المخدر مرة أخرى في ولادتها التاسعة والأخيرة -وهي فترة ولادتها الأميرة بياتريس في عام 1857- إلى تسريع قبول هذه الممارسة، على الرغم من الانتقادات الموجهة ضد أطبائها في مجلة لانسيت، المجلة الطبية البريطانية المرموقة. أصبح الكلوروفورم هو المخدر المفضل للولادة في بريطانيا ومعظم أنحاء أوروبا. ظل الإثير أكثر شعبية في أمريكا الشمالية.

في أوائل القرن العشرين، حظيت طريقة مختلفة للتحكم في الألم في أثناء الولادة بقبول سريع في ألمانيا وانتشرت بسرعة إلى أجزاء أخرى من أوروبا. يتكون نوم الشفق، كما كان معروفًا، من السكوبولامين

والمورفين، وهما مركبان جرت مناقشتهما والحديث عنهما في الفصلين الثاني عشر والثالث عشر. أعطيت كمية صغيرة جدًّا من المورفين في بداية المخاض. خفف الألم، ولكن ليس تخفيفًا كاملًا، وبخاصة إذا كان المخاض طويلاً أو صعبًا. كما حفَّز السكوبولامين النوم، والأهم من ذلك في نظر الأطباء الذين أيدوا هذا المزيج من الأدوية، أنه ضمن أن المرأة لا تتذكر ولادتها. كان يُنظر إلى نوم الشفق على أنه الحل الأمثل لآلام الولادة، إلى درجة أن بدأت حملة عامة للترويج لاستخدامه في الولايات المتحدة في عام 1914. كما نشرت الجمعية الوطنية لنوم الشفق كتيبات ونظمت محاضرات تمجد فضائل هذا النهج الجديد.

جاء وصف المخاوف الخطيرة التي عبر عنها أعضاء المجتمع الطبي بأنها أعذار للأطباء القساة وعديمي الشعور للاحتفاظ بالسيطرة على مرضاهم. أصبح مخدر نوم الشفق قضية سياسية، وجزءًا من الحركة الأكبر التي منحت المرأة في النهاية حق التصويت. ما يبدو غريبًا إلى حد كبير في هذه الحملة الآن هو أن النساء صدقن الادعاءات القائلة بأن مخدر نوم الشفق أزال معاناة الولادة، مما سمح للأم بالاستيقاظ منتعشة ومستعدة للترحيب بطفلها الجديد. في الواقع، عانت النساء الألم نفسه، وتصرفن كما لو لم أنَّهن لم يُمنحن أي دواء، لكن فقدان الذاكرة الناجم عن السكوبولامين حجب أي ذكرى للمحنة. قدم فيلم Twilight Sleep صورة زائفة لأمومة هادئة وخالية من المتاعب.

مثل الكلوروكربونات الأخرى في هذا الفصل، تبين أن الكلوروفورم -على الرغم من كل بركاته لمرضى الجراحة ومهنة الطب- له جانب مظلم. من المعروف الآن أنه يسبب تلف الكبد

والكلى، كما أن التعرض لمستويات عالية يزيد من خطر الإصابة بالسرطان. يمكن أن يؤدي إلى تلف قرنية العين، وتشقق الجلد، ويؤدي إلى التعب والغثيان وعدم انتظام ضربات القلب، إلى جانب تأثيره المخدر والمسكن. عند التعرض لدرجات حرارة عالية أو الهواء أو الضوء، يُنتج الكلوروفورم الكلور وأول أكسيد الكربون والفوسجين و/ أو كلوريد الهيدروجين، وكلها مواد سامة أو مسببة للتآكل. في أيامنا هذه، يتطلب العمل باستخدام الكلوروفورم ملابس ومعدات واقية، وهو أمر بعيد كل البعد عن الأيام السعيدة التي عاشها مقدمو التخدير الأصليون. ولكن حتى لو عُرفت خصائصه السلبية منذ أكثر من قرن من الزمان، فإن مئات الآلاف من الذين استنشقوا أبخرة الرائحة الحلوة قبل الجراحة، كانوا ينظرون إلى الكلوروفورم على أنَّه هبة من السماء وليس مركبًا شريرًا أو خبيثًا.

ما من شكٍ في أن الكثير من مركبات الكلوروكربون يلائمها دور الشرير في الحكاية، على الرغم من أنه ربما يكون من الأفضل تطبيق هذه التسمية على أولئك الذين تخلصوا من مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور في الأنهار، واعترضوا على حظر مركبات الكربون الكلورية فلورية حتى بعد إثبات آثارها على طبقة الأوزون، واستخدموا المبيدات الحشرية بصورة تمييزية وعنصرية (سواء قانونية أو غير قانونية) على الأرض والمياه، ووضع الربح قبل السلامة في المصانع والمختبرات حول العالم.

نحن الآن نصنع المئات من المركبات العضوية التي تحتوي على الكلور، وهي غير سامة، ولا تدمر طبقة الأوزون، وغير ضارة بالبيئة، وغير مسرطنة، ولم تستخدم قط في حرب الغاز. وهذه تجد استخدامًا في منازلنا وصناعاتنا، ومدارسنا ومستشفياتنا، وسياراتنا وقواربنا وطائراتنا. وهي لا تحظى بأي دعاية ولا تسبب أي ضرر، ولكن لا يمكن وصفها بأنها مواد كيميائية غيرت العالم.

المفارقة في مركبات الكلوروكربون هي أن تلك التي تسببت في أكبر قدر من الضرر أو لديها القدرة على إحداث أكبر قدر من الضرر يبدو أنها أيضًا هي المسؤولة عن بعض التقدم الأكثر فائدة في مجتمعنا. كان التخدير ضروريًا لتطوير الجراحة بوصفه فرعًا من فروع الطب التي تتطلب مهارات عالية. بل فتح تطوير جزيئات موائع التبريد لاستخدامها في السفن والقطارات والشاحنات فرصًا تجارية جديدة؛ وتبع ذلك النمو والازدهار في الأجزاء غير المتطورة من العالم. أصبح تخزين الطعام الآن آمنًا ومريحًا مع أجهزة التبريد المنزلي. لكننا الآن نرى الراحة التي يوفرها تكييف الهواء أمرًا مفروغًا منه، ونفترض أن مياه الشرب لدينا آمنة وأن محولاتنا الكهربائية لن تشتعل فيها النيران. قُضي على الأمراض التي تنقلها الحشرات أو قللت إلى حدٍ كبير في الكثير من البلدان. لكن لا يمكن استبعاد التأثير الإيجابي لهذه المركبات.

الفصل السابع عشر

الجزيئات في مواجهة الملاريا

كلمة ملاريا تعني «الهواء الفاسد». اشتقت من الكلمتين الإيطاليتين *مال آريا*[1]، لأنه لقرون كثيرة اعتُقد أن هذا المرض ناتج عن الضباب السام والأبخرة الشريرة المنجرفة من المستنقعات المنخفضة. يُمكن القول إن هذا المرض، الذي يسببه طفيلي مجهري، أعظم قاتل للبشرية على الإطلاق. وحتى الآن، تشير التقديرات المتحفظة إلى أن ما بين 300 مليون إلى 500 مليون حالة إصابة سنويًّا في جميع أنحاء العالم، وما يتراوح بين مليونين إلى ثلاثة ملايين حالة وفاة سنويًّا، معظمها من الأطفال في إفريقيا. عند عقد مقارنة، أودى تفشي فيروس إيبولا في عام 1995 في زائير بحياة 250 شخصًا في ستة أشهر؛ يموت أكثر من عشرين ضعف هذا العدد من الأفارقة بسبب الملاريا كل يوم. تنتقل الملاريا بسرعة قصوى أكبر من الإيدز. تقدر الحسابات أن المرضى المصابين بفيروس نقص المناعة البشرية ينقلون العدوى إلى ما بين اثنين إلى عشرة آخرين؛ يمكن لكل مريض مصاب بالملاريا أن ينقل المرض إلى المئات.

---

(1) ملحوظة المترجمة: الكلمتان بالإيطالية Mal aria.

لطفيل الملاريا أربعة أنواع مختلفة (جنس *البلازموديوم*[1]) تلك التي تصيب البشر: *المتصورة النشيطة، والمتصورة المنجلية، والمتصورة الملاريا، والمتصورة البيضاوية*. تسبب جميع هذه الأنواع الأربعة الأعراض النموذجية للملاريا -الحمى الشديدة، والقشعريرة، والصداع الشديد، وآلام العضلات- التي يمكن أن تتكرر حتى بعد سنوات. أمَّا الأكثر فتكًا من بين هذه الأربعة فهي الملاريا المنجلية. يُشار أحيانًا إلى الأنواع الأخرى من الملاريا على أنَّها الملاريا «الحميدة»، على الرغم من أن الضرر الذي تلحقه بالصحة العامة وإنتاجية المجتمع ليس حميدًا على الإطلاق. عادة ما تكون حمى الملاريا دورية، تظهر كل يومين أو ثلاثة أيام. في حالة الإصابة بالمنجلية القاتلة، تصبح هذه الحمى العرضية نادرة، ومع تقدم المرض، يصاب المريض باليرقان[2] والخمول والارتباك قبل أن يدخل في غيبوبة ويموت.

تنتقل الملاريا من إنسان إلى آخر عن طريق لدغة بعوضة الأنوفيليس. تحتاج أنثى البعوض إلى وجبة من الدم قبل أن تضع بيضها. إذا كان الدم الذي تحصل عليه البعوضة يأتي من إنسان مصاب بالملاريا، فإن الطفيل يصبح قادرًا على مواصلة دورة حياته في أمعاء البعوضة وينتقل عندما يُقدم إنسان آخر الوجبة التالية. ثم يتطور في كبد الضحية الجديدة. وبعد أسبوع أو نحو ذلك يغزو مجرى

(1) ملحوظة المترجمة: تُعرف أيضًا باسم المتصورة.

(2) ملحوظة المترجمة: يُعرف أيضًا بمرض الصفراء.

الدم ويدخل إلى كريات الدم الحمراء، التي أصبحت الآن متاحة لأنواع أخرى من الأنوفيلات الماصّة للدماء.

نُصنِّف الآن الملاريا على أنها مرض استوائي أو شبه استوائي، لكنها كانت حتى وقت قريب جدًّا منتشرة أيضًا على نطاق واسع في المناطق المعتدلة. ترد إشارات وتلميحات إلى وجود الحمى -على الأرجح هي الملاريا- في أقدم التدوينات التاريخية المكتوبة للصين والهند ومصر منذ آلاف السنين. وكان الاسم الإنجليزي للمرض هو «إيجيو[1]». ظلَّ شائعًا شيوعًا واسعًا في المناطق الساحلية المنخفضة في إنجلترا وهولندا، وهي مناطق بها مستنقعات مترامية الأطراف ومياه بطيئة الحركة أو راكدة أي إنها بيئة مثالية لتكاثر البعوض. لحق هذا المرض أيضًا بالمزيد من المجتمعات الشمالية: في الدول الإسكندنافية وشمال الولايات المتحدة وكندا. كما أن الملاريا عُرفت في أقصى الشمال مثل مناطق السويد وفنلندا بالقرب من خليج بوثنيا، بالقرب من الدائرة القطبية الشمالية. وكان مستوطنًا في الكثير من البلدان المطلة على البحر الأبيض المتوسط والبحر الأسود.

أينما نمت بعوضة الأنوفيليس، نمت الملاريا أيضًا. في روما، المشهورة بـ «حمى المستنقعات» القاتلة، في كل مرة يُعقد فيها اجتماع بابوي سري، يموت عدد من الكرادلة الحاضرين بسبب المرض. في جزيرة كريت وشبه جزيرة بيلوبونيز في البر الرئيس لليونان، وأجزاء أخرى من العالم ذات مواسم رطبة وجافة ملحوظة، اعتاد الناس

---

(1) ملحوظة المترجمة: الكلمة الإنجليزية هي Ague، يُمكن ترجمتها إلى العربية بالبرداء؛ إشارة لذلك المرض.

أن ينقلوا حيواناتهم إلى منطقة التلال المرتفعة خلال أشهر الصيف. ربما يعود السبب وراء ذلك إلى الهروب من الملاريا من المستنقعات الساحلية بقدر مماثل لبحثهم عن مراعٍ صيفية.

أصابت الملاريا الأغنياء والمشاهير وكذلك الفقراء. كذلك زُعم أنَّ الإسكندر الأكبر مات بسبب الملاريا، كما مات المستكشف الإفريقي ديفيد ليفينجستون. أمَّا الجيوش فصارت معرضة على وجه التحديد للإصابة بأوبئة الملاريا. أسهم النوم في الخيام أو الملاجئ المؤقتة أو في العراء في منح البعوض الذي يتغذى ليلًا فرصة كبيرة للعض. عانى أكثر من نصف القوات في الحرب الأهلية الأمريكية نوبات الملاريا السنوية. هل يمكننا أن نضيف الملاريا إلى الويلات التي عانتها قوات نابوليون؛ على الأقل في أواخر الصيف والخريف في عام 1812، عندما بدأوا هجومهم الكبير على موسكو؟

ظلت الملاريا مشكلة عالمية حتى القرن العشرين. وصلت الحالات في الولايات المتحدة في عام 1914 إلى أكثر من نصف مليون حالة ملاريا. في عام 1945، عاش ما يقرب من ملياري شخص في العالم في مناطق الملاريا، وفي بعض البلدان صار 10٪ من السكان مصابين بالمرض. وفي هذه الأماكن، يمكن أن يصل معدل التغيب عن العمل بسبب الملاريا إلى 35٪، ويصل إلى 50٪ بين أطفال المدارس.

بعد الاطلاع على مثل هذه الإحصائيات، ليس من العجيب إذن أنه وقع الاختيار على استخدام عدد من الوسائل المختلفة لعدة قرون لمحاولة السيطرة على المرض. اشتملت هذه التجارب على ثلاثة جزيئات مختلفة تمامًا، ولكل منها ارتباطات مثيرة للاهتمام، بل ومدهشة، بالكثير من الجزيئات المذكورة في الفصول السابقة. أول هذه الجزيئات هو الكينين.

في أعالي جبال الأنديز، بين ثلاثة آلاف وتسعة آلاف قدم فوق مستوى سطح البحر، تنمو شجرة يحتوي لحاؤها على جزيء قلويد، الذي من دونه لصار العالم مكانًا مختلفًا تمامًا اليوم. يوجد حوالي أربعين نوعًا من هذه الشجرة، جميعها تنتمي إلى جنس *الكينا*. هم السكان الأصليون في المنحدرات الشرقية لجبال الأنديز، من كولومبيا جنوبا إلى بوليفيا. ظلت الخصائص المميزة للحاء الشجرة معروفة منذ زمن طويل في أذهان السكان المحليين، ومن المؤكد أنهم نقلوا المعرفة بأن الشاي المخمر من هذا الجزء من الشجرة كان علاجًا فعالًا للحمى.

تروي الكثير من القصص كيفية اكتشاف المستكشفين الأوروبيين الأوائل في المنطقة التأثير المضاد للملاريا في لحاء الكينا. في إحدى هذه الحالات، كان جندي إسباني يعاني الملاريا يشرب الماء من بركة محاطة بأشجار الكينا، فاختفت الحمى بأعجوبة. كما وردت رواية أخرى لها علاقة بكونتيسة تشينتشون، دونا فرانسيسكا هنريكيس دي ريفيرا، التي كان زوجها، كونت تشينتشون، نائب الملك الإسباني على بيرو من عام 1629 إلى عام 1639. في أوائل ثلاثينيات القرن السابع

عشر، أصيبت دونا فرانسيسكا بمرض شديد بسبب الملاريا. وعند تجربة العلاجات الأوروبية التقليدية لم تكن غير فعالة، فلجأ طبيبها إلى علاج محلي، وهو شجرة الكينا. سُمِّي هذا النوع (على الرغم من كتابته بخطأ إملائي) على اسم الكونتيسة، التي نجت بفضل الكينين الموجود في لحائها.

استخدمت هذه القصص بصفتها دليلًا على أن الملاريا كانت موجودة في العالم الجديد قبل وصول الأوروبيين. ولكن حقيقة أن الهنود عرفوا أن شجرة الكينا -وهي كلمة بيروفية تحولت إلى اسم كوينا[1] في اللغة الإسبانية- تشفي من الحمى لا تثبت أن الملاريا كانت موطنًا أصليًّا في الأمريكتين. وصل كولومبوس إلى شواطئ العالم الجديد قبل أكثر من قرن من تناول دونا فرانسيسكا علاج الكينين، وهو وقت أكثر من كافٍ لتجد عدوى الملاريا طريقها من المستكشفين الأوائل إلى بعوض الأنوفيليس المحلي وتنتشر إلى سكان آخرين في الأمريكتين. لا يوجد أي دليل على أن الحمى التي عولجت بلحاء الكينا في القرون التي سبقت وصول الغزاة كانت ملاريا. ومن المقبول عمومًا الآن بين مؤرخي الطب وعلماء الأنثروبولوجيا أن المرض انتقل من إفريقيا وأوروبا إلى العالم الجديد. كل من العبيد الأوروبيين والأفارقة حينها صاروا مصدرًا للعدوى. بحلول منتصف القرن السادس عشر، نمت تجارة الرقيق من غرب إفريقيا إلى الأمريكتين، حيث تنتشر الملاريا، ورسخت دعائمها رسوخًا فعليًّا. في ثلاثينيات القرن السابع عشر، عندما أصيبت الكونتيسة

(1) ملحوظة المترجمة: تُكتب في الإسبانية quina، أمَّا نطقها الأصلي فهو Kina.

تشينتشون بالملاريا في بيرو، كانت أجيال من سكان غرب إفريقيا والأوروبيين الذين يحملون طفيليات الملاريا قد وفروا فعليًا مخزونًا هائلًا من العدوى في انتظار التوزيع في جميع أنحاء العالم الجديد.

انتشرت فكرة أن لحاء شجرة الكوينا يمكن أن يعالج الملاريا في أوروبا انتشارًا سريعًا. في عام 1633، سجل الأب أنطونيو دي لا كالوتشا الخصائص المذهلة للحاء «شجرة الحمى»، وشرع أعضاء آخرون في الرهبنة اليسوعية في بيرو في استخدام لحاء الكوينا لعلاج الملاريا والوقاية منها. في أربعينيات القرن السابع عشر، أخذ الأب بارتولومي تافور بعضًا من اللحاء إلى روما، وانتشرت أخبار خصائصه المعجزة بين رجال الدين. صار المجمع البابوي في عام 1655 هو أول تجمع لم يحدث فيه أي حالة وفاة بسبب الملاريا بين الكرادلة الحاضرين. سرعان ما عمل اليسوعيون على استيراد كميات كبيرة من اللحاء وبيعه في جميع أنحاء أوروبا. وعلى الرغم من سمعته الممتازة في البلدان الأخرى، فإن «المسحوق اليسوعي» -كما أصبح معروفًا- لم ينل انتشارًا على الإطلاق في إنجلترا البروتستانتية. رفض أوليفر كرومويل التداوي بالعلاج البابوي، ومات بسبب الملاريا في عام 1658.

اكتسب علاج آخر للملاريا شهرة في عام 1670، عندما حذر روبرت تالبور، وهو صيدلي وطبيب في لندن، الجمهور من الأخطار التي تعقب تناول مسحوق اليسوعيين وعمل على الترويج لتركيبته السرية. ثُمَّ نُقِلَ علاج تالبور إلى البلاط الملكي في كل من إنجلترا وفرنسا؛ وقد نجا ملكه تشارلز الثاني، وابن لويس الرابع عشر، الملك الفرنسي، من نوبات شديدة من الملاريا بفضل دواء تالبور

المذهل. لم يُكشف عن العنصر المعجزة في تركيبته إلا بعد وفاة تالبور. واكتُشف أنَّه هو لحاء الكينا نفسه الموجود في مسحوق اليسوعيين. إن خداع تالبور، رغم أنه جعله ثريًّا بلا شك -وهو الدافع الرئيس على الأرجح- قد أنقذ حياة البروتستانت الذين رفضوا اللجوء إلى العلاج الكاثوليكي. كما أنَّ حقيقة أن مادة الكينين قد عالجت المرض المعروف باسم «الحمى» إنما هي دليل على أن هذه الحمى، التي ابتليت بها معظم أوروبا لعدة قرون، كانت في الواقع ملاريا.

خلال القرون الثلاثة التالية، عُولجت الملاريا -بالإضافة إلى علاج عسر الهضم والحمى وفقدان الشعر والسرطان والكثير من الحالات الأخرى- في معظم الأحيان بلحاء شجرة الكينا. لم يُعرف عمومًا ما النبات الذي جاء منه اللحاء حتى عام 1735، عندما اكتشف عالم النبات الفرنسي جوزيف دي جوسيو، في أثناء استكشاف المرتفعات العالية للغابات المطيرة في أمريكا الجنوبية، أنَّ مصدر اللحاء المر هو أنواع مختلفة من مجموعة واسعة من شجرة مورقة يصل ارتفاعها إلى خمسة وستين قدمًا. وهي تقع ضمن عائلة *روبياتشيه*[1]، وهي العائلة نفسها لشجرة القهوة. لطالما تزايد الطلب تزايدًا كبيرًا على اللحاء، وأصبح حصاده صناعة رئيسة. على الرغم من أنه كان من الممكن جمع بعض اللحاء من دون قتل الشجرة، فإنه يُمكن تحقيق أرباح أكبر إذا قُطعت الشجرة وجُرد اللحاء بالكامل. بحلول نهاية القرن الثامن عشر، وصل عدد الأشجار المقطوعة إلى ما يقدر بنحو 25000 شجرة كينا كل عام.

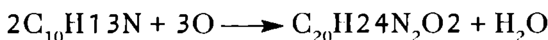
(1) ملحوظة المترجمة: الاسم اللاتيني Rubiaceae، وتعني بالعربيّة الفويّة.

مع ارتفاع تكلفة لحاء الكينا واحتمال تعرض شجرة المصدر للخطر، أصبح عزل الجزيء المضاد للملاريا وتصنيعه وتبين بنيته وتحليلها هدفًا مهمًا. يُعتقد أن أول عملية عزل لجزيء الكينين، على الرغم من أنه ربما عُزل في صورة غير نقية، يعود تاريخها إلى عام 1792. بدأ البحث الشامل عن المركبات الموجودة في اللحاء في حوالي عام 1810، ولم يتمكن الباحثان جوزيف بيليتييه وجوزيف كافينتو من الوصول إلى هذه النتيجة إلا في عام 1820. لاستخراج الكينين وتنقيته. منح معهد باريس للعلوم هؤلاء الكيميائيين الفرنسيين مبلغًا قدره عشرة آلاف فرنك مقابل عملهما القيم.



صورة لشجرة الكينا التي يُحصل على لحائها (التقط هذه الصورة إل. كيث وايد)

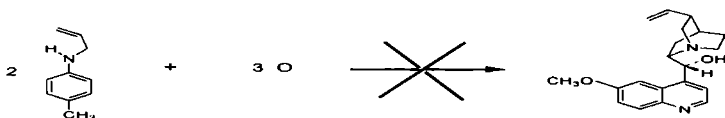
من بين ما يقرب من ثلاثين قلويدًا موجودة في لحاء الكينا، سرعان ما تبين أنَّ الكينين العنصر النشط. ولم تُحدد بنيته تحديدًا كاملًا حتى فترة طويلة من القرن العشرين، لذا فإن المحاولات المبكرة لتخليق المركب لم تتوافر لديها سوى فرصة ضئيلة للنجاح. أحد هذه الجهود هو تلك التي بذلها الكيميائي الإنجليزي الشاب ويليام بيركن (الذي التقيناه في الفصل التاسع) لدمج جزيئين من الأليل تولويدين مع ثلاث ذرات أكسجين لتكوين الكينين والماء.



$$2C_{10}H13N + 3O \longrightarrow C_{20}H24N_2O2 + H_2O$$

ماء　　　كينين　　　أكسجين　　　الأليل تولويدين

استمر العمل في عام 1856 على أساس أن صيغة الأليل تولويدين ($C_{10}H13N$) كانت تقريبًا نصف تركيبة الكينين ($C_{20}H24N_2O2$)، وكان محكومًا على تجربته بالفشل. نعلم الآن أن بنية الأليل تولويدين والبنية الأكثر تعقيدًا للكينين هي كما يلي:



ولا ينتج الكينين　　لا يتفاعلان معًا　　الأكسجين　　2 جزيء من الأليل تولويدين

على الرغم من أنَّ بيركن أخفق في صنع الكينين، فإن عمله كان مثمرًا إثمارًا بالغًا في صنع اللون البنفسجي -والمال- لصناعة الأصباغ ولتطوير علم الكيمياء العضوية.

عندما جلبت الثورة الصناعية الرخاء إلى بريطانيا وأجزاء أخرى من أوروبا خلال القرن التاسع عشر، أصبح رأس المال متاحًا

لمعالجة مشكلة الأراضي الزراعية غير الصحية والمستنقعات. حولت خطط الصرف واسعة النطاق السِّباخ والمستنقعات إلى مزارع أكثر إنتاجية، مما يعني أن المياه الراكدة التي يتكاثر فيها البعوض صارت أقلّ، كما قلت حالات الإصابة بالملاريا في المناطق التي كانت أكثر انتشارًا فيها. لكن الطلب على الكينين لم يتناقص. بل نقيض ذلك هو الصحيح، مع تزايد الاستعمار الأوروبي في إفريقيا وآسيا، زاد الطلب على منتج الوقاية من مرض الملاريا. أخذت العادة البريطانية لتناول منتج الكينين بصفته إجراء وقائيًّا للتحصن ضد الملاريا تتطور إلى أن صارت مشروب «جن التونيك» في المساء؛ صار الجن ضروريًّا لكي يتحول طعم الكينين المرير المذاق في ماء التونيك ويصير مستساغًا. اعتمدت الإمبراطورية البريطانية على إمدادات الكينين، وذلك نظرًا إلى أنَّ الكثير من مستعمراتها الأكثر قيمة -في الهند، وماليزيا، وإفريقيا، ومنطقة البحر الكاريبي- تقع في مناطق من العالم تتوطن فيها الملاريا. كما استعمر الهولنديون والفرنسيون والإسبان والبرتغاليون والألمان والبلجيكيون مناطق الملاريا. صار الطلب العالمي على الكينين هائلًا.

نظرًا إلى أنَّه لم يلح في الأفق أي معالم طريق لإنتاج الكينين الاصطناعي، استمر البحث عن حل مختلف، وعُثِرَ عليه: زراعة أنواع الكينا من الأمازون في بلدان أخرى. أُدرت أرباح من بيع لحاء الكينا إدرارًا كبيرًا، حتى أن حكومات بوليفيا والإكوادور والبيرو وكولومبيا، من أجل الحفاظ على احتكارها لتجارة الكينين، حظرت تصدير نباتات الكينا الحية أو بذورها. وفي عام 1853، تمكن الهولندي جوستوس هاسكارل، مدير حديقة النباتات في جزيرة

جاوة في جزر الهند الشرقية الهولندية، من تهريب كيس من بذور نبات الكينا كاليسايا خارج أمريكا الجنوبية. تحققت زراعتها بنجاح في جاوة، ولكن لسوء الحظ الذي حالف هاسكارل والهولنديين، كان هذا النوع من شجرة الكينا يحتوي على كمية قليلة نسبيًا من الكينين. للبريطانيين تجربة مماثلة مع البذور المهربة من نبات الكينا، تلك التي زرعوها في الهند وسيلان. نمت الأشجار، لكن اللحاء كان يحتوي على أقل من 3٪ من كمية الكينين اللازم لإنتاج فعال من حيث التكلفة.

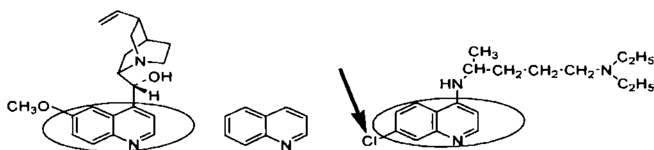
في عام 1861، تمكن تشارلز ليدجر، وهو أسترالي قضى عدة سنوات تاجرَ لحاء الكوينا، من إقناع هندي بوليفي بأن يبيع له بذور من أنواعٍ من شجرة الكينا التي من المفترض أنها تحتوي على نسبة عالية جدًّا من الكينين. لم تهتم حينها الحكومة البريطانية بشراء بذور ليدجر؛ تجربتهم في زراعة نبات الكينا على الأرجح دفعتهم إلى اتخاذ قرار بأن هذا المشروع غير مجدٍ اقتصاديًا. لكن الحكومة الهولندية اشترت رطلًا من بذور هذا النوع، الذي أصبح يعرف باسم *سينشونا ليدجيريانا*، بقيمة عشرين دولارًا تقريبًا. على الرغم من أن البريطانيين اتخذوا الاختيار الذكي قبل مئتي عام تقريبا بالتنازل عن جزيء الأيزويوجينول المستخدم في تجارة جوز الطيب للهولنديين في مقابل الحصول على جزيرة مانهاتن، فإن الهولنديين هم من اتخذوا القرار الصحيح هذه المرة. وقد أُطلق على عملية الشراء التي تبلغ قيمتها عشرين دولارًا أفضل استثمار في التاريخ، وذلك لأنه وُجد أن مستويات الكينين في لحاء نبات الكينا ليدجيريانا تصل إلى 13 في المئة.

زُرعت بذور سينشونا ليدجيريانا في جاوة وحُرثت بعناية. ومع نضج الأشجار وحصاد لحائها الغني بالكينين، انخفض تصدير

اللحاء المحلي من أمريكا الجنوبية. تكرر هذا السيناريو بعد خمسة عشر عامًا، عندما أشارت البذور المهربة من شجرة أخرى في أمريكا الجنوبية، *هيفيا برازيلينسيس* إلى زوال إنتاج المطاط المحلي (انظر الفصل الثامن).

بحلول عام 1930، أتى أكثر من 95٪ من الكينين في العالم من المزارع في جاوة. أدخلت عقاقير الكينا هذه ربحًا طائلًا إلى الهولنديين. كاد جزيء الكينين، أو ربما بصورة أكثر دقة احتكار زراعة جزيء الكينين، أن يقلب ميزان الحرب العالمية الثانية. في عام 1940، غزت ألمانيا هولندا وصادرت المخزون الأوروبي الكامل من الكينين من مقر «مكتب كينا» في أمستردام. أدى الغزو الياباني لجاوة في عام 1942 إلى زيادة تعرض إمدادات هذا العقار الأساسي المضاد للملاريا للخطر. أرسل علماء النبات الأمريكيون، بقيادة ريموند فوسبرج من مؤسسة سميثسونيان، إلى الجانب الشرقي من جبال الأنديز لتأمين إمدادات من لحاء الكينا من الأشجار التي ما زالت تنمو نموًا طبيعيًّا في المنطقة. وعلى الرغم من أنهم تمكنوا من الحصول على عدد من الأطنان من اللحاء، فإنهم لم يعثروا قط على أي عينات من شجرة الكينا ليدجيريانا عالية الإنتاجية التي حقق الهولنديون بها مثل هذا النجاح المذهل. ظل الكينين ضروريًا لحماية قوات الحلفاء في المناطق الاستوائية، لذلك مرة أخرى أصبحت بنيته -أو بنية جزيء مماثل له خصائص مضادة للملاريا- لها أهمية قصوى.

الكينين هو مشتق من جزيء الكينولين. خلال ثلاثينيات القرن العشرين، أُنتج عددٌ قليل من المشتقات الاصطناعية للكينولين وأثبتت نجاحها في علاج الملاريا الحادة. أسفرت الأبحاث المكثفة عن الأدوية المضادة للملاريا خلال الحرب العالمية الثانية عن إنتاج مشتق -4أمينوكوينولين، المعروف الآن باسم الكلوروكين، الذي صنعه في الأصل كيميائيون ألمان قبل الحرب، بوصفه أفضل خيار اصطناعي.



يشتمل كل من الكينين (عن اليسار) والكلوروكين (عن اليمين) على بنية الكينولين (المحاطة بدائرة) (في الوسط). يُشير السهم إلى وجود ذرة الكلور في الكلوروكين

يحتوي الكلوروكين على ذرة الكلور، وهو مثال آخر لجزيء الكلوروكربون الذي استفادت منه البشرية أيما استفادة. لأكثر من أربعين عامًا، ظل الكلوروكين دواءً آمنًا وفعالًا مضادًا للملاريا، واستطاع معظم الناس تحمله جيدًا على الرغم من احتوائه على قدر قليل من سمية الكينولينات الاصطناعية الأخرى. لسوء الحظ، انتشرت سلالات طفيلي الملاريا المقاومة للكلوروكين انتشارًا سريعًا في العقود القليلة الماضية، مما أدى إلى تقليل فعالية الكلوروكين، ويقع الآن الاختيار على استخدام مركبات مثل فانسيدار وميفلوكين، بما لها من سمية أكبر وآثار جانبية مثيرة للقلق في بعض الأحيان، للوقاية من الملاريا.

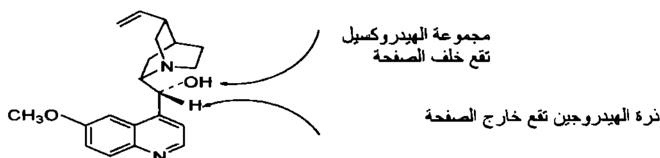
تصنيع الكينين

على ما يبدو أن رحلة السعي إلى تصنيع جزيء الكينين الفعلي تحقق نجاحها في عام 1944، عندما عمل روبرت وودوارد وويليام دورينج من جامعة هارفارد على تحويل مشتق بسيط من الكينولين إلى جزيء زُعم أن الكيميائيين السابقين تمكنوا في عام 1918 من تحويله إلى كينين. افتُرض أنَّ التصنيع الكلي للكينين قد اكتمل أخيرًا. لكن ليست هذه الأمة. جاء التقرير المنشور للعمل السابق سطحيًّا إلى حدٍّ كبير إلى درجة أنه لم يكن من الممكن التأكد مما أُنجز فعليًّا وما إذا كان ادعاء التحول الكيميائي صحيحًا.

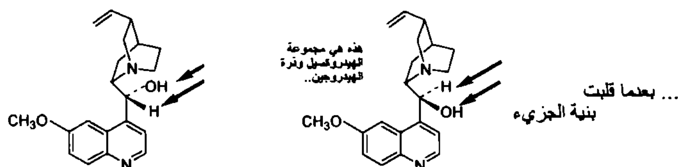
لدى كيميائيو المنتجات الطبيعية العضوية قول مأثور: «الدليل الحاسم على البنية هو اصطناع الجزيء». أي، بعبارة أخرى، مهما كان مقدار الأدلة التي تشير إلى صحة البنية المقترحة، فإننا لكي نتأكد تمام التأكد من صحتها، علينا تصنيع الجزيء بصورة مستقلة. في عام 2001، بعد مرور 145 عامًا على محاولة بيركن المشهورة الآن لصنع الكينين، حاول العمل على ذلك جيلبرت ستورك، الأستاذ الفخري في جامعة كولومبيا في نيويورك، مع مجموعة من زملاء العمل. بدأوا بمشتق مختلف من الكينولين، واتبعوا طريقًا بديلًا، وعملوا على تنفيذ كل خطوة من خطوات تصنيع البنية بأنفسهم.

بالإضافة إلى أنَّ البنية معقدة إلى حد ما، فإن الكينين، مثل الكثير من الجزيئات الأخرى المصنوعة في الطبيعة، يمثل تحديًّا خاصًا وهو تحديد الطريقة التي تُوضع بها الروابط المختلفة حول بعض ذرات الكربون في الفضاء. تحتوي بنية الكينين على ذرة هيدروجين

(H) تشير إلى خارج الصفحة (يشار إليها بعلامة وتدٍ سميك ▬) ومجموعة هيدروكسيل (OH) موجهة خلف الصفحة (يشار إليها بخط متقطع) حول ذرة الكربون مجاورة لنظام حلقة الكينولين.



يظهر مثال على الترتيبات المكانية المختلفة لهذه الروابط في هذه الصفحة للكينين مع وجود نسخة مقلوبة حول ذرة الكربون نفسها.



الكينين (عن اليسار) والنسخة المشابهة جدًا (عن اليمين) التي ستصنع أيضًا في المختبر في الوقت نفسه الذي يُصنع فيه الكينين

في كثير من الأحيان تصنع الطبيعة مركبًا واحدًا فقط من بين مركبين مثل هذا. لكن عندما يحاول الكيميائيون صنع الجزيء اصطناعيًّا، فإنهم لا يستطيعون تجنب صنع مزيج متساوٍ من الاثنين. ونظرًا إلى أنهما متشابهان تشابهًا كبيرًا، فإن فصل الجزيئين من هذا

الزوج أمر صعب ويستغرق وقتًا طويلًا. توجد ثلاثة مواضع أخرى لذرات الكربون في جزيء الكينين، حيث تُنتج كلا النسختين الطبيعية والمقلوبة بصورة لا مفر منها في أثناء التصنيع المختبري، لذلك لا بد من تكرار هذه العمليات المضنية أربع مرات إجمالًا. ويا لهذا من تحدٍ تغلب عليه ستورك وزملائه، لا يوجد دليل على أن المشكلة كانت محل تقدير كامل في عام 1918.

يستمر حصاد الكينين من المزارع في إندونيسيا والهند وزائير ودول إفريقية أخرى، مع حصاد كميات أقل تأتي من مصادر طبيعية في بيرو وبوليفيا والإكوادور. من الاستخدامات الرئيسة اليوم هي في ماء الكينين، والمياه التونيك، وغيرها من المشروبات المرة كما يُستخدم في إنتاج الكينيدين، وهو دواء للقلب. لا يزال يُعتقد أن الكينين يوفر قدرًا من الوقاية ضد الملاريا في المناطق المقاومة للكلوروكين.

حلّ الإنسان لمرض الملاريا

في أثناء سعي الناس وبحثهم عن طرق لحصد المزيد من الكينين أو تصنيعه اصطناعيًا، ما زال الأطباء حينها يحاولون فهم سبب الملاريا. في عام 1880 اكتشف طبيب في الجيش الفرنسي في الجزائر شارل لويس ألفونس لافران اكتشافًا فتح الطريق في نهاية المطاف إلى الوصول إلى نهج جزيئي جديد لمكافحة هذا المرض. وجد لافران، باستخدام المجهر لفحص شرائح عينات الدم، أن دم المرضى المصابين بالملاريا يحتوي على خلايا نعرف الآن أنها مرحلة من أوليات الملاريا المتصورة. تأكّدت النتائج التي توصل إليها لافران، والتي رفضتها المؤسسة الطبية في البداية، على مدى السنوات القليلة التالية من

خلال تحديد المتصورة النشيطة والمتصورة الملاريا، ولاحقًا المتصورة المنجلية. بحلول عام 1891، كان من الممكن التعرف إلى طفيل الملاريا المُحدد عن طريق صبغ خلية البلازموديوم بأصباغ مختلفة.

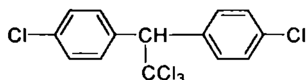
على الرغم من الافتراض بأنَّ البعوض يشارك بطريقة أو بأخرى في نقل الملاريا، فإن رونالد روس، وهو شاب إنجليزي ولد في الهند وعمل طبيبًا في الخدمة الطبية الهندية، لم يتمكن حتى عام 1897 من تحديد مرحلة أخرى من حياة البلازموديوم في أنسجة الأمعاء لدى بعوضة الأنوفيليس. وهكذا عُرِفَ الارتباط المعقد بين الطفيلي والحشرة والإنسان. ثم تلا ذلك إدراك أن الطفيلي كان عرضة للهجوم في مراحل مختلفة من دورة حياته.



دورة حياة طفيل البلازموديوم. تنفجر الميروزويتات بشكل دوري (كل 48 أو 72 ساعة) من خلايا الدم الحمراء لمضيفها، مما يتسبب في ارتفاع الحمى.

توجد عدة طرق ممكنة لكسر دورة المرض، مثل قتل مرحلة الميروزويتات من الطفيلي في الكبد والدم. خط الهجوم الواضح الآخر هو «ناقل» المرض، أي البعوض نفسه. يمكن أن يشمل ذلك منع لدغات البعوض، أو قتل البعوض البالغ، أو منعه من التكاثر.

على أنَّه ليس من السهل دائمًا تجنب لدغات البعوض؛ وفي الأماكن التي تصبح فيها تكلفة السكن المعقول أعلى من إمكانات معظم السكان، فإن حواجز النوافذ لا يُمكن توافرها. كما أنه ليس من العملي تصريف كل المياه الراكدة أو البطيئة الحركة لمنع البعوض من التكاثر. لكن يمكن السيطرة على أعداد البعوض عن طريق نشر طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء، بذلك لا تتمكن يرقات البعوض الموجودة في الماء من التنفس. ومع ذلك، فإن أفضل خط للهجوم على بعوضة الأنوفيليس نفسها هو المبيدات الحشرية القوية.



في البداية، كان أهم هذه العناصر هو الجزيء المكلور دي دي تي (DDT)، الذي يعمل بفعالية لأنه يحول دون التحكم في الأعصاب التي تتميز بها الحشرات. ولهذا السبب، فإن مادة الـدي دي تي -عند المستويات التي تُستخدم فيها كمبيد حشري- ليست سامة للحيوانات الأخرى، حتى عندما تكون قاتلة للحشرات. تُقدر الجرعة المميتة للإنسان تقريبيًّا بثلاثين جرامًا. وهذا تقدير كبير؛ ولذلك لم يُبلغ عن وفيات في أعداد البشر بسبب مادة الـدي دي تي.

جزيء الـدي دي تي (DDT)

بفضل مجموعة متنوعة من العوامل - تحسين أنظمة الصحة العامة، وتحسين الإسكان، ووجود عدد أقل من الناس الذين يعيشون في المناطق الريفية، وتصريف المياه الراكدة على نطاق واسع، والوصول شبه الشامل إلى الأدوية المضادة للملاريا- انخفض

معدل الإصابة بالملاريا بحلول السنوات الأولى من القرن العشرين. وانخفضت انخفاضًا كبيرًا في أوروبا الغربية وأمريكا الشمالية. الـدي دي تي هو الخطوة الأخيرة اللازمة للقضاء على الطفيلي في البلدان المتقدمة. في عام 1955، بدأت منظمة الصحة العالمية حملة واسعة النطاق باستخدام مادة الـدي دي. تي للقضاء على الملاريا في بقية أنحاء العالم.

عندما شُرِعَ في رش مادة الـدي دي تي، كان نحو 1.8 مليار شخص يعيشون في مناطق الملاريا. بحلول عام 1969، قُضِيَ على الملاريا لدى ما يقرب من 40٪ من هؤلاء الأشخاص. أتت النتائج مذهلة في بعض البلدان: في عام 1947، عاش في اليونان ما يقرب من مليوني حالة إصابة بالملاريا، بينما وصل العدد إلى سبعة ملايين في عام 1972. إذا كان من الممكن القول بإنه يوجد جزيء واحد مسؤول عن زيادة الرخاء الاقتصادي في اليونان خلال الربع الأخير من القرن العشرين، فمن المؤكد أنه وبلا شك مادة الدي دي تي. قبل بدء رش مادة الـدي دي تي في الهند في عام 1953، عاش هناك ما يقدر بنحو 75 مليون حالة سنويًّا؛ بحلول عام 1968 وصل العدد هناك إلى 300000 فقط. كما أُبلغ عن نتائج مماثلة من بلدان في جميع أنحاء العالم. لا عجب إذن أن يُنظر إلى مادة الـدي دي تي على أنَّها جزيء معجزة. بحلول عام 1975، أعلنت منظمة الصحة العالمية أن أوروبا أصبحت خالية من الملاريا.

نظرًا إلى أنَّه مبيد حشري طويل الأمد، فإن العلاج كل ستة أشهر -أو حتى سنويًا عندما يصبح المرض موسميًا- لهو كافٍ لتوفير الحماية ضد المرض. رُشت مادة الدي دي تي على الجدران الداخلية للمنازل حيث تتشبث أنثى البعوض بها، في انتظار حلول الليل للحصول على وجبتها من الدم. بقي مادة الـدي دي تي في المكان الذي يُرش فيه، كما اعتُقد أن كمية ضئيلة منه ستشق طريقها إلى السلسلة الغذائية. إنتاجه جزيئًا غير مكلف، وبدا في ذلك الوقت أن له سمية قليلة لأشكال الحياة الحيوانية الأخرى. وفي وقت لاحق فقط أصبح التأثير المدمر للتراكم الحيوي لمادة الدي دي تي واضحًا. أدركنا منذ ذلك الحين كيف يمكن للإفراط في استخدام المبيدات الحشرية الكيميائية أن يخل بالتوازن البيئي، مما يسبب مشكلات أكثر خطورة من الآفات.

على الرغم من أن حملة منظمة الصحة العالمية ضد الملاريا بدت في البداية واعدة، فإن القضاء على الطفيلي عالميًّا أثبت أنه أكثر صعوبة مما كان متوقعًا لعدد من الأسباب، بما في ذلك تطور مقاومة البعوض لمادة الدي دي تي، وزيادة التعداد السكاني والتغييرات الإيكولوجية التي قللت عدد الأنواع التي تتغذى على البعوض، ونشوب الحروب، والكوارث الطبيعية، وتدهور خدمات الصحة العامة، وزيادة مقاومة البلازموديوم للجزيئات المضادة للملاريا. بحلول أوائل السبعينيات، تخلت منظمة الصحة العالمية عن حلمها في القضاء التام على الملاريا وركزت جهودها على مكافحتها.

إذا أمكن القول إن إنتاج الجزيئات وشيوعها يعتمد على مدى ملاءمتها للعصر، فإن مادة الدي دي تي في العالم المتقدم هي بالتأكيد غير عصرية؛ بل إن الاسم يبدو وكأنه يحمل حلقة مشؤومة. على الرغم من حظره الآن في الكثير من البلدان، تشير التقديرات إلى أن هذا المبيد الحشري أنقذ حياة خمسين مليون إنسان. تراجع خطر الوفاة بسبب الملاريا إلى حد كبير من البلدان المتقدمة -وهي فائدة مباشرة وضخمة من جزيء له أضرار ضخمة- ولكن في حال الملايين الذين ما زالوا يعيشون في مناطق الملاريا في العالم، فلا يزال التهديد قائمًا.

الهيموجلوبين: حماية الطبيعة

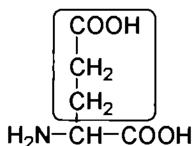
في الكثير من هذه الأماكن، لا يستطيع سوى عدد قليل من الناس شراء جزيئات المبيدات الحشرية التي تتحكم في بعوض الأنوفيليس أو بدائل الكينين الاصطناعية التي توفر الحماية للسياح القادمين من الغرب. ولكن الطبيعة قد منحت شكلًا مختلفًا تمامًا للدفاع والوقاية ضد الملاريا في هذه المناطق. يحمل ما يصل إلى 25 في المئة من سكان إفريقيا جنوب الصحراء الكبرى سمة وراثية للمرض المؤلم والموهن المعروف باسم فقر الدم المنجلي. عندما يحمل كلا الوالدين هذه الصفة، فإن طفلًا يُحتمل أن تلحقه الإصابة بالمرض بنسبة خمسة وعشرين في المئة، وبنسبة خمسين في المئة يُحتمل أن يكون حاملًا له، وبنسبة خمسة وعشرين في المئة يُحتمل أن ينقل الإصابة أو لا نظرًا إلى أنه حامل المرض.

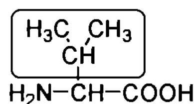
خلايا الدم الحمراء الطبيعية مستديرة ومرنة، مما يسمح لها بالضغط عبر الأوعية الدموية الصغيرة في الجسم. لكن في مرضى فقر الدم المنجلي، ما يقرب من نصف خلايا الدم الحمراء تصبح جامدة وتأخذ شكل هلال أو منجل ممدود. تواجه خلايا الدم الحمراء المنجلية الأكثر صلابة صعوبة في الضغط عبر الشعيرات الدموية الضيقة ويمكن أن تسبب انسدادًا في الأوعية الدموية الدقيقة، مما يترك خلايا الأنسجة العضلية والأعضاء الحيوية من دون دم وأكسجين. ويؤدي هذا إلى «أزمة» مرضية تسبب ألمًا شديدًا وأحيانًا تلحق الضرر الدائم بالأعضاء والأنسجة المصابة. يدمر الجسم الخلايا غير الطبيعية المنجلية بمعدل أسرع من المعدل الطبيعي، مما يؤدي إلى انخفاض عام في خلايا الدم الحمراء؛ مصدر فقر الدم.

حتى وقت قريب، كان فقر الدم المنجلي مميتًا في مرحلة الطفولة لأن المشكلات في القلب، والفشل الكلوي، وفشل الكبد، والعدوى، والسكتات الدماغية كان لها أثرها في سن مبكرة. يمكن للأدوية المعالجة الحالية -ليست أدوية شفائية- أن تطيل من عمر المرضى فتتيح لهم أن يعيشوا حياة أطول وأكثر صحة. يمكن أن يتأثر حاملو فقر الدم المنجلي بالمرض، على الرغم من أنه لا يكون كافيًا في العادة لإضعاف الدورة الدموية.

أمَّا حاملو الصفة الوراثية للخلية المنجلية الذين يعيشون في مناطق الملاريا، فإن هذا المرض يمنحهم تعويضًا قيِّمًا: درجة كبيرة من المناعة ضد الملاريا. يُفسَّر الارتباط المؤكد بين الإصابة بالملاريا وارتفاع أعداد حاملي صفة فقر الدم المنجلي بسبب المزية التطورية التي يتمتع

بها حاملو هذا المرض. أولئك الذين ورثوا سمة الخلية المنجلية من كلا الوالدين عادة ما يموتون منها في مرحلة الطفولة. أمّا أولئك الذين لم يرثوا هذه السمة من أي من الوالدين فكانوا أكثر عرضة للاستسلام، في كثير من الأحيان في مرحلة الطفولة، للملاريا. أمّا أولئك الذين ورثوا الخلية المنجلية من أحد الوالدين فقط، فتولدت لديهم بعض المناعة ضد طفيل الملاريا، وظلوا على قيد الحياة حتى سن الإنجاب. وهكذا فإن الاضطراب الوراثي لفقر الدم المنجلي لم يستمر فقط بين السكان، بل زاد على مر الأجيال. في حالة عدم وجود الملاريا، لما صار لصفة حاملي المرض أي فائدة، ولم تكن لتستمر هذه السمة بين السكان. كما أن غياب الهيموجلوبين غير الطبيعي الذي يوفر مناعة ضد الملاريا لدى السكان الهنود الأمريكيين دليل حاسم على أنَّ الأمريكتين كانتا خاليتين من الملاريا قبل وصول كولومبوس.





يرجع اللون الأحمر لخلايا الدم الحمراء إلى وجود جزيئات الهيموجلوبين التي وظيفتها نقل الأكسجين إلى جميع أنحاء الجسم. أحد التغييرات الضئيلة في التركيب الكيميائي للهيموجلوبين أنَّه يصبح المسؤول عن حالة فقر الدم المنجلي التي تهدد الحياة. الهيموجلوبين هو بروتين. مثل الحرير، هو بوليمر يشتمل على وحدات من الأحماض الأمينية، ولكن على عكس الحرير، الذي قد

تحتوي سلاسله من الأحماض الأمينية مرتبة ترتيبًا مختلفًا على آلاف الوحدات، فإن الأحماض الأمينية المرتبة بدقة للهيموجلوبين مرتبة في مجموعتين من سلسلتين متطابقين. تلتف السلاسل الأربعة معًا حول أربعة أجسام تحتوي على الحديد، وهو الموقع الذي تلتصق فيه ذرات الأكسجين. المرضى الذين يعانون فقر الدم المنجلي لديهم فقط اختلاف في وحدة حمض أميني واحد في إحدى مجموعتي السلاسل. على ما يسمى بسلسلة بيتا، فالحمض الأميني السادس هو حمض فالين بدلًا من حمض الجلوتاميك الموجود في الهيموجلوبين الطبيعي.

حمض الفالين حمض الجلوتاميك

يختلف الفالين عن حمض الجلوتاميك فقط في بنية السلسلة الجانبية (موضحة).

تتكون سلسلة بيتا من 146 حمضًا أمينيًا، بينما تحتوي السلسلة ألفا على 141 حمضًا أمينيًا. وبالتالي فإن التباين الإجمالي في الأحماض الأمينية هو واحد فقط من أصل 287؛ أي حوالي ثلث واحد في المائة من الفرق في الأحماض الأمينية. ومع ذلك فإن النتيجة في حال الشخص الذي يرث المرض أنَّ سمة الخلية المنجلية من كلا الوالدين مدمرة. وإذا قلنا إنَّ المجموعة الجانبية لا تشكل سوى حوالي ثلث بنية الحمض الأميني، فإن الفرق في النسبة المئوية في البنية الكيميائية الفعلية يصبح أقل من ذلك؛ وهو تغير في التركيب الكيميائي. فقط حوالي عُشر الواحد في المائة من التركيب الجزيئي.

يفسر هذا التغيير في بنية البروتين أعراض فقر الدم المنجلي. تحتوي المجموعة الجانبية من حمض الجلوتاميك على مجموعة الكربوكسيل (COOH) كجزء من بنيتها، في حين أن المجموعة الجانبية من حمض الفالين لا تحتوي عليه. من دون مجموعة الكربوكسيل على بقايا الحمض الأميني السادس من السلسلة بيتا، يكون الشكل غير المؤكسج من هيموجلوبين فقر الدم المنجلي أقل قابلية للذوبان؛ فهو يترسب داخل خلايا الدم الحمراء، وهو ما يفسر تغير شكلها وفقدان مرونتها. لا تتأثر قابلية ذوبان الشكل المؤكسج من فقر الدم المنجلي إلا قليلًا، وبالتالي يزداد المرض أكثر عندما يوجد المزيد من الهيموجلوبين غير المؤكسج.

بمجرد أن تبدأ الخلايا المنجلية في سد الشعيرات الدموية، تصبح الأنسجة المحيطة ناقصة في الأكسجين، ويتحول الهيموجلوبين المؤكسج إلى الهيموجلوبين غير المؤكسج، ويحدث المزيد من التجلط؛ وهي حلقة مفرغة تؤدي بسرعة إلى أزمة. وهذا هو السبب في أن حاملي سمة الخلايا المنجلية يُصبحون أيضًا عرضة للمرض فقر الدم المنجلي: في حين أن حوالي ٪1 فقط من خلايا الدم الحمراء لديهم هي خلايا منجلية بصورة طبيعية، فإن ٪50 من جزيئات الهيموجلوبين لديها القدرة على أن تصبح خلايا منجلية. قد يحدث هذا عند انخفاض ضغط الأكسجين في الطائرات غير المضغوطة أو بعد ممارسة التمارين الرياضية على ارتفاعات عالية؛ وكلاهما من الحالات التي يمكن أن يتراكم فيها شكل الهيموجلوبين غير المؤكسج في الجسم.

عُثر على أكثر من 150 نوعًا مختلفًا في التركيب الكيميائي للهيموجلوبين البشري، وعلى الرغم من أن بعضها مميت أو يسبب مشكلات، فإن الكثير منها حميد على ما يبدو. يُعتقد أن المقاومة الجزئية للملاريا تُمنح لحاملي أنواع الهيموجلوبين المختلفة التي تنتج أشكالًا أخرى من فقر الدم، مثل ثلاسيميا ألفا، المستوطنة بين سكان جنوب شرق آسيا، وثلاسيميا بيتا، الأكثر شيوعًا في أولئك الذين ينتمون إلى أصول البحر الأبيض المتوسط، مثل اليونانيين. والإيطاليين، يوجد أيضًا في القادمين من الشرق الأوسط والهند وباكستان وأجزاء من إفريقيا. من المحتمل أن ما يصل إلى خمسة من كل ألف من البشر لديهم نوع من الاختلاف في بنية الهيموجلوبين، ولن يعرف معظمهم أبدًا.

ليس فقط الاختلاف في بنية المجموعة الجانبية بين حمض الجلوتاميك والفالين هو الذي يسبب المشكلات المنهكة لفقر الدم المنجلي؛ بل أيضًا الموضع الذي يحدث فيه هذا على السلسلة بيتا. لا نعرف ما إذا كان هذا التغيير لو وقع في موضع مختلف هل سيحدث له تأثير مماثل في قابلية ذوبان الهيموجلوبين وشكل خلايا الدم الحمراء. لكن نعرف تمام المعرفة السبب الذي يجعل هذا التغيير محفزًا للمناعة ضد الملاريا. من الواضح أن خلايا الدم الحمراء التي تحتوي على الهيموجلوبين على سلسلة الفالين في الموضع السادس تعوق دورة حياة طفيل البلازموديوم.

تختلف تلك الجزيئات الثلاثة التي تشكل محور الكفاح المستمر ضد الملاريا اختلافًا كبيرًا من الناحية الكيميائية، ولكن كل منها كان له تأثير كبير في أحداث الماضي. لم تجلب قلويدات لحاء الكينا،

طوال تاريخها الطويل من الفائدة للإنسان، سوى القليل من المزايا الاقتصادية للسكان الأصليين الذين يعيشون على المنحدرات الشرقية لجبال الأنديز حيث تنمو أشجار الكينا. كما استفاد الغرباء من جزيء الكينين، مستغلين موردًا طبيعيًّا فريدًا من نوعه في بلد نامٍ لمصلحتهم الخاصة. أصبح الاستعمار الأوروبي لجزء كبير من العالم ممكنًا بسبب خصائص الكينين المضادة للملاريا، التي قدمت، مثل الكثير من المنتجات الطبيعية الأخرى، نموذجًا جزيئيًا للكيميائيين الذين يحاولون إعادة إنتاج آثاره أو تعزيزها عن طريق إجراء تعديلات على الصيغة البنائية الأصلية.

وعلى الرغم من أنَّ جزيء الكينين، في القرن التاسع عشر، سمح بنمو الإمبراطورية البريطانية وتوسع المستعمرات الأوروبية الأخرى، فإن نجاح جزيء الدي دي تي بصفته مبيدًا حشريًّا هو الذي قضى أخيرًا على الملاريا من أوروبا وأمريكا الشمالية في القرن العشرين. الدي دي تي هو جزيء عضوي اصطناعي ليس له نظير طبيعي. يُحيط دائمًا خطر عند تصنيع مثل هذه الجزيئات، فليس لدينا طريقة لمعرفة على وجه اليقين أيها سيكون مفيدًا وأيها قد يصبح له آثار ضارة. ومع ذلك، كم منا سيغدو على استعداد للتخلي تمامًا عن المدى الكامل للجزيئات الجديدة، ومنتجات ابتكارات الكيميائيين التي تعزز حياتنا: المضادات الحيوية والمطهرات، والبلاستيك والبوليمرات، والأقمشة والنكهات، وأدوية التخدير والمواد المضافة، والألوان والمبردات؟

ظهرت تداعيات التغير الجزيئي الضئيل الذي أدى إلى إنتاج الهيموجلوبين المنجلي في ثلاث قارات. وأتت مقاومة الملاريا عاملًا حاسمًا في النمو السريع لتجارة الرقيق الإفريقية في القرن السابع عشر. جاءت الغالبية العظمى من العبيد الذين صُدِّروا إلى العالم الجديد من منطقة إفريقيا حيث كانت الملاريا متوطنة وحيث ينتشر جين فقر الدم المنجلي. وسرعان ما استغل تجار العبيد وأصحاب العبيد المزية التطورية المتمثلة في استبدال حمض الفالين بحمض الجلوتاميك في الموضع السادس على جزيء الهيموجلوبين. وبالطبع لم يعرفوا السبب الكيميائي لتحصن العبيد الأفارقة ضد الملاريا. كل ما كانوا يعرفونه هو أن العبيد من إفريقيا يمكنهم عمومًا النجاة من الحمى في المناخات الاستوائية المناسبة لزراعة السكر والقطن، في حين أن الأمريكيين الأصليين، الذين أُحضروا من أجزاء أخرى من العالم الجديد للعمل في المزارع، سيستسلمون بسرعة للأمراض. هذا التحول الجزيئي الضئيل حكم على أجيال من الأفارقة بالعبودية.

لم تكن تجارة الرقيق لتزدهر كما صارت لو وقع العبيد وأحفادهم ضحية للملاريا. كما أنَّ الأرباح من مزارع السكر الكبرى في العالم الجديد لم تكن لتتوافر لتهيئة النمو الاقتصادي في أوروبا. ربما لم توجد هناك أي مزارع سكر كبيرة. ولاستحال أن يتطور القطن بصفته محصولًا رئيسًا في جنوب الولايات المتحدة، ولربما تأخرت الثورة الصناعية في بريطانيا أو اتخذت اتجاهًا مختلفًا تمامًا، وربما لم تنشب حرب أهلية في الولايات المتحدة. لصارت أحداث نصف الألفية الماضية مختلفة تمامًا لولا هذا التغيير الطفيف في بنية الهيموجلوبين.

الكينين، ومادة الدي دي تي، والهيموجلوبين؛ هذه البنيات الثلاثة المختلفة اختلافًا كبيرًا متحدة تاريخيًا من خلال ارتباطاتها بواحد من أعظم القتلة في عالمنا. كما أنها تمثل أيضًا الجزيئات التي وردت مناقشتها في الفصول السابقة. الكينين هو منتج نباتي طبيعي، كما هو الحال مع الكثير من المركبات التي كان لها آثار بعيدة المدى في تطور الحضارة. الهيموجلوبين أيضًا منتج طبيعي، ولكن من أصل حيواني. كذلك، ينتمي الهيموجلوبين إلى مجموعة الجزيئات المصنفة على أنها بوليمرات، ومرة أخرى أثبتت البوليمرات بجميع أنواعها أن لها أثر فعال في التغيرات الكبرى عبر التاريخ. يوضح جزيء الدي دي تي المعضلات التي غالبًا ما ترتبط بالمركبات التي يصنعها الإنسان. تُرى إلى أي مدى لصار عالمنا مختلفًا -للأفضل أو للأسوأ- من دون المواد الاصطناعية التي تُنتج بفضل براعة أولئك الذين يصنعون جزيئات جديدة.

خاتمة

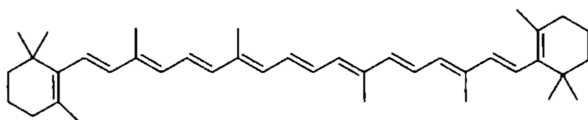
لطالما أمكن تفسير الأحداث التاريخية ونسبتها إلى أكثر من سببٍ، لذا فإن من التيسير المُخل أن ننسبها فقط إلى البينات الكيميائية في هذا الكتاب. على أنَّ ذلك ليس من قبيل المبالغة لو قلنا إن البنيات الكيميائية لعبت دورًا جوهريًّا وفي أغلب الأحيان دورًا غير مُعترف به في تطور الحضارات. عندما يُحدد الكيميائي الصيغة البنائية لمركب طبيعي مختلف أو مركب اصطناعي جديد، فإن تأثير التغيير الكيميائي الصغير -انتقال رابطة مزدوجة هنا، استبدال ذرة أكسجين هناك، تغيير في المجموعة الجانبية- غالبًا سيتبعه عواقب صغيرة. على أننا لا ندرك أهمية الأمر إلا بعد فوات الأوان بعد أن يُحدث هذا التأثير الصغير تغيرات هائلة.

باديء ذي بدء، قد تبدو البنيات الكيميائية المعروضة في هذه الفصول غريبة ومحيرة لك. لكننا نأمل أن نكون قد أزلنا الإبهام من خلال إضافة الرسومات، التي استطعت من خلالها رؤية كيفية اتحاد الذرات في الجزيء للمركبات الكيميائية ضمن قواعد محكمة ومحددة. على الرغم من ذلك، فإن حدود هذه القواعد تبدو وكأنَّها تفتح الباب لملايين من الاحتمالات للصيغ البنائية المختلفة.

المركبات التي اخترناها لأنها لها قصص مهمة ومثيرة للاهتمام تقع ضمن مجموعتين. أمّا المجموعة الأولى، فتشمل الجزئيات التي تأتي بصورة طبيعية، لطالما حظيت بتقدير الإنسان واهتمامه. أدت الرغبة

في اكتشاف هذه الجزيئات إلى السيطرة على جوانب عدة من التاريخ المبكر. وعلى مدار القرن ونصف القرن الماضيين صار للمجموعة الأخرى من الجزيئات أهمية أكبر. فهي المركبات التي تُصنع في المختبرات أو المصانع، بعضها، مثل صبغة النيلي، مطابق مطابقة تامة للمركبات التي تنتج بصورة طبيعية، وبعضها الآخر، مثل الأسبرين، يُعد فرعًا عن الصيغة البنائية للمركب الطبيعي. أحيانًا، مثل مركبات الكلوروفلوروكرون، تُصنع من البداية ولا يُوجدها أي مثيل في الطبيعة.

إلى هذين المجموعتين، يُمكننا أن نُضيف تصنيفًا ثالثًا: جزيئات أثرت تأثيرًا هائلًا بل غير متوقع في حضارتنا في المستقبل. هي جزيئات تُنتج بصورة طبيعية لكن بتوجيه الإنسان وابتكاره. أسفرت الهندسة الوراثية (أو التكنولوجيا الحيوية أو أيًّا كان المصطلح المستخدم للعملية الصناعية التي من خلالها تُنتج مادة جينية جديدة في الأعضاء) عن إنتاج جزيئات لم تُوجد مسبقًا. «الأرز الذهبي» على سبيل المثال، هو سلالة من الأرز بالهندسة الوراثية لإنتاج كاروتين بيتا، المادة البرتقالية المصفرة المتوافرة في الجزر، والفواكه والخضروات الصفراء الأخرى كما توجد أيضًا في الخضراوات ذوات الأوراق الخضراء خضارًا داكنًا.



كاروتين بيتا

تحتاج أجسادنا إلى مادة كاروتين بيتا لتنتج فيتامين أ، الضروري لتغذية الإنسان. يحتوي النظام الغذائي لملايين الأشخاص حول العالم، ولكن على وجه الخصوص في آسيا، حيث إن الأرز المحصول الأساسي، على نسبة منخفضة من الكاروتين بيتا. يؤدي نقص فيتامين أ إلى الإصابة بالأمراض التي يُمكن أن تُسبب العمى بل وحتى الموت. لا تحتوى حبات الأرز بصورة افتراضية على كاروتين بيتا، ولتلك الأجزاء من العالم التي ينتشر فيها آكلو الأرز ولا يُنتج هذه الجزيء فيه بصورة طبيعية من مصادر أخرى، فإن إضافة كاروتين بيتا إلى الأرز الذهبي صار مبشرًا بصحة وعافية أفضل.

لكن يوجد قصور تحيط بهذه الهندسة الوراثية. على الرغم من أن جزيء كاروتين بيتا نفسه يُوجد طبيعيًّا في نباتات كثيرة، فإن النُّقاد في مجال الكيمياء الحيوية طرحوا تساؤلًا: هل من الآمن إضافة هذا الجزيء إلى الأماكن التي لا يُنتج فيها بصورة طبيعية؟ هل يمكن لهذا الجزيء أن يتفاعل تفاعلًا عكسيًّا مع المركبات الموجودة مسبقًا؟ هل يُحتمل أنها قد تُسبب حساسية لبعض الناس؟ ما الآثار طويلة المدى الناجمة عن العبث مع الطبيعة؟ وكذلك الكثير من المسائل المطروحة في المجالين الكيميائية والبيولوجي، كما أثيرت قضايا أخرى تتعلق بالهندسة الوراثية، مثل دافع الربح الذي يحرك الكثير من هذه الأبحاث، والخسارة المحتملة لتنوع المحاصيل، وعولمة الزراعة. لكل هذه الأسباب والشكوك، يتعين علينا أن نتصرف بحذر على الرغم مما قد يبدو من المزايا الواضحة في إجبار الطبيعة على إنتاج الجزيئات أينما وكيفما نريدها. كما هو الحال مع جزيئات

مثل مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور ومادة الدي دي تي، يمكن للمركبات الكيميائية أن تكون نعمة ونقمة في الوقت نفسه، ونحن لا نعرف دائمًا أي الوجهين ممكن عندما نخترعها. وربما يلعب التلاعب البشري بالمواد الكيميائية المعقدة التي تتحكم في الحياة في نهاية المطاف دورًا مهمًا في تطوير محاصيل أفضل، وفي الحد من استخدام المبيدات الحشرية، وفي القضاء على الأمراض. أو قد يؤدي مثل هذا التلاعب إلى مشكلات غير متوقعة على الإطلاق، التي قد تهدد الحياة نفسها في أسوأ السيناريوهات.

في المستقبل، إذا نظر الناس إلى حضارتنا، فما الجزيئات التي كان لها أكبر تأثير في القرن الحادي والعشرين؟ فهل ستغدو جزيئات مبيدات الأعشاب الطبيعية المضافة إلى المحاصيل المعدلة وراثيًا هي التي تقضي عن غير قصد على مئات الأنواع النباتية الأخرى؟ هل هي الجزيئات الصيدلانية هي التي تعمل على تحسين صحتنا الجسدية ورفاهيتنا العقلية؟ هل ستصبح هناك أنواع جديدة من المخدرات غير المشروعة المرتبطة بالإرهاب والجريمة المنظمة؟ هل هي الجزيئات السامة هي التي تزيد من تلويث بيئتنا؟ هل هي الجزيئات هي التي توفر طريقًا لمصادر جديدة أو أكثر كفاءة للطاقة؟ هل سيؤدي الإفراط في استخدام المضادات الحيوية إلى ظهور «جراثيم خارقة» مقاومة؟

لم يستطع كولومبوس توقع نتائج بحثه عن الببيرين، ولم يكن ماجلان على علم بالآثار طويلة المدى لبحثه عن الأيزويوجينول، ومن المؤكد أن شونباين لشعر بالدهشة من أن النيتروسليلوز الذي صنعه من مطبخ زوجته كان بداية صناعات عظيمة متنوعة مثل

المتفجرات والمنسوجات. كما أن بيركن ليس بوسعه أن يتوقع أن تجربته الصغيرة لن تؤدي في نهاية المطاف إلى تجارة ضخمة في الأصباغ الاصطناعية فحسب، بل أيضًا إلى تطوير المضادات الحيوية والأدوية. ماركر، نوبل، وشاردونيه، وكاروثرز، وليستر، وبايكلاند، وجوديير، وهوفمان، ولوبلانك، والإخوة سولفاي، وهاريسون، وميدجلي، والآخرون كذلك الذين روينا قصصهم، لم يكن لديهم أدنى فكرة عن الأهمية التاريخية لاكتشافاتهم. لذا فلعل من الطبيعي تمامًا إذا راودنا تساؤلات محيرة في أثناء محاولة التنبؤ بما إذا كان يوجد اليوم فعليًّا جزيء غير متوقع من شأنه في نهاية المطاف أن يصبح له تأثير عميق وغير متوقع على الحياة كما نعرفها، حتى أن أحفادنا سيقولون: «لقد غير هذا عالمنا.»

شكر وعرفان

هذا الكتاب لم يكن ليُكتب له طريق النور لكتابته من دون الدعم الحماسي من عائلاتنا وأصدقائنا وزملائنا. ونود أن نشكر الجميع؛ لقد قدرنا كل اقتراح وتعليق، حتى لو لم نستخدمها كلها.

لم يكن البروفيسور كون كامبي من جامعة أوكلاند في نيوزيلندا يتوقع أن يقضي وقتًا في تقاعده في فحص المخططات البنائية والصيغ الكيميائية. وإننا ليغمرنا العرفان لاستعداده للقيام بذلك، ولنظرته الثاقبة، وتأييده الصادق للمشروع. وما كان من خطأ، فهو خطؤنا. كما نود أيضًا أن نشكر وكيلنا، جين ديستل، من إدارة جين ديستيل الأدبية، الذي رأى الإمكانات في اهتمامنا بالعلاقة بين البنيات الكيميائية والأحداث التاريخية.

تدعي ويندي هوبرت، محررتنا في دار تارتشر بوتنام، أنها تعلمت الكثير (عن الكيمياء) من خلال عملية التحرير، لكننا نعتقد أننا تعلمنا الكثير من ويندي. فإن إصرارها على تعديل السرد، من خلال إضافة السطور وجمل الرَّبط، هو الذي جعل هذا الكتاب كتابًا. كنا نعلم أن الروابط بينهم كانت موجودة؛ إلا أن ويندي -التي لا تتهاون أبدًا في أن تخرج الجمل فضفاضة- شجعتنا على ربطهم جميعًا معًا.

وأخيرًا، إننا نعترف بفضول هؤلاء الكيميائيين الذين سبقونا وبراعتهم. من دون جهودهم لم نكن لندرك الفهم ويغمرنا السحر الذي يمثل متعة الكيمياء.

المصادر

- Allen, Charlotte. «The Scholars and the Goddess.» Atlantic Monthly. January 2001. Arlin, Marian. The Science of Nutrition. New York: Macmillan, 1977.
- Asbell, Bernard. The Pill: A Biography of the Drug That Changed the World. New York: Random House, 1995.
- Aspin, Chris. The Cotton Industry. Series 63. Aylesbury: Shire Publications, 1995. Atkins, P. W. Molecules. Scientific American Library series, no. 21. New York: Scientific American Library, 1987.
- Balick, Michael J., and Paul Alan Cox. Plants, People, and Culture: The Science of Ethnobotany. Scientific American Library series, no. 60. New York: Scientific American Library, 1997.
- Ball, Philip. «What a Tonic.» Chemistry in Britain (October 2001): 2629-.
- Bangs, Richard, and Christian Kallen. Islands of Fire, Islands of Spice: Exploring the Wild Places of Indonesia. San Francisco: Sierra Club Books, 1988.
- Brown, G. I. The Big Bang: A History of Explosives. Gloucestershire: Sutton Publications, 1998.
- Brown, Kathryn. «Scary Spice.» New Scientist (December 2353 :(2000 ,30-.
- Brown, William H., and Christopher S. Foote. Organic Chemistry. Orlando, Fla.: Harcourt Brace, 1998.

- Bruce, Ginny. Indonesia: A Travel Survival Kit. Australia: Lonely Planet Publications, 1986.
- Bruice, Paula Yurkanis. Organic Chemistry. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1998.
- Cagin, S., and P. Day. Between Earth and Sky: How CFCs Changed Our World and Endangered the Ozone Layer. New York: Pantheon Books, 1993.
- Campbell, Neil A. Biology. Menlo Park, Calif.: Benjamin/Cummings, 1987. Carey, Francis A. Organic Chemistry. New York: McGraw-Hill, 2000.
- Caton, Donald. What a Blessing She Had Chloroform: The Medical and Social Responses to the Pain of Childbirth from 1800 to the Present. New Haven: Yale University Press, 1999.
- Chang, Raymond. Chemistry. New York: McGraw-Hill, 1998.
- Chester, Ellen. Woman of Valor: Margaret Sanger and the Birth Control Movement in America. New York: Simon and Schuster, 1992.
- Clow, A., and N. L. Clow. The Chemical Revolution: A Contribution to Social Technology. London: Batchworth Press, 1952.
- Collier, Richard. The River That God Forgot: The Story of the Amazon Rubber Boom.
- New York: E. P. Dutton, 1968.
- Coon, Nelson. The Dictionary of Useful Plants. Emmaus, Pa.: Rodale Press, 1974. Cooper, R. C., and R. C. Cambie. New Zealand's Economic Native Plants. Auckland:

- Oxford University Press, 1991.
- Davidson, Basil. Black Mother: The Years of the African Slave Trade. Boston: Little, Brown, 1961.
- Davis, Lee N. The Corporate Alchemists: The Power and Problems of the Chemical Industry. London: Temple-Smith, 1984.
- Davis, M. B., J. Austin, and D. A. Partridge. Vitamin C: Its Chemistry and Biochemistry. London: Royal Society of Chemistry, 1991.
- De Bono, Edward, ed. Eureka: An Illustrated History of Inventions from the Wheel to the Computer. New York: Holt, Rinehart, and Winston, 1974.
- Delderfield, R. F. The Retreat from Moscow. London: Hodder and Stoughton, 1967. Djerassi, C. The Pill, Pygmy Chimps and Degas' Horse: The Autobiography of Carl
- Djerassi. New York: Harper and Row, 1972.
- DuPuy, R. E., and T. N. DuPuy. The Encyclopedia of Military History from 3500 B.C. to the Present. Rev. ed. New York: Harper and Row, 1977.
- Ege, Seyhan. Organic Chemistry: Structure and Reactivity. Lexington, Mass.: D. C. Heath, 1994.
- Ellis, Perry. «Overview of Sweeteners.» Journal of Chemical Education 72, no. 8 (Au- gust 1995): 67175-.
- Emsley, John. Molecules at an Exhibition: Portraits of Intriguing Materials in Everyday Life. New York: Oxford University Press, 1998.

- Fairholt, F. W. Tobacco: Its History and Associations. Detroit: Singing Tree Press, 1968.
- Feltwell, John. The Story of Silk. New York: St. Martin's Press, 1990.
- Fenichell, S. Plastic: The Making of a Synthetic Century. New York: HarperCollins, 1996.
- Fessenden, Ralph J., and Joan S. Fessenden. Organic Chemistry. Monterey, Calif.: Brooks/Cole, 1986.
- Fieser, Louis F., and Mary Fieser. Advanced Organic Chemistry. New York: Reinhold, 1961.
- Finniston, M., ed. Oxford Illustrated Encyclopedia of Invention and Technology. Oxford: Oxford University Press, 1992.
- Fisher, Carolyn. «Spices of Life.» Chemistry in Britain (January 2002).
- Fox, Marye Anne, and James K. Whitesell. Organic Chemistry. Sudbury: Jones and Bartlett, 1997.
- Frankforter, A. Daniel. The Medieval Millennium: An Introduction. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1998.
- Garfield, Simon. Mauve: How One Man Invented a Colour That Changed the World.
- London: Faber and Faber, 2000.
- Gilbert, Richard. Caffeine, the Most Popular Stimulant: Encyclopedia of Psychoactive Drugs. London: Burke, 1988.
- Goodman, Sandra. Vitamin C: The Master Nutrient. New Canaan, Conn.: Keats, 1991.

- Gottfried, Robert S. The Black Death: Natural and Human Disaster in Medieval Eu- rope. New York: Macmillan, 1983.
- Harris, Nathaniel. History of Ancient Greece. London: Hamlyn, 2000.
- Heiser, Charles B., Jr. The Fascinating World of the Nightshades: Tobacco, Mandrake, Potato, Tomato, Pepper, Eggplant, etc. New York: Dover, 1987.
- Herold, J. Christopher. The Horizon Book of the Age of Napoleon. New York: Bonanza Books, 1983.
- Hildebrand, J. H., and R. E. Powell. Reference Book of Inorganic Chemistry. New York: Macmillan, 1957.
- Hill, Frances. A Delusion of Satan: The Full Story of the Salem Witch Trials. London: Hamish Hamilton, 1995.
- Hough, Richard. Captain James Cook: A Biography. New York: W. W. Norton, 1994.
- Huntford, Roland. Scott and Amundsen (The Last Place on Earth). London: Hodder and Stoughton, 1979.
- Inglis, Brian. The Opium Wars. New York: Hodder and Stoughton, 1976. Jones, Maitland, Jr. Organic Chemistry. New York: W. W. Norton, 1997.
- Kauffman, George B. «Historically Significant Coordination Compounds. 1.
- Alizarin dye.» Chem 13 News (May 1988).
- Kauffman, George B., and Raymond B. Seymour. «Elastomers. 1. Natural Rubber.»

- Journal of Chemical Education 67, no. 5 (May 1990): 42225–.
- Kaufman, Peter B. Natural Products from Plants. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 1999. Kolander, Cheryl. A Silk Worker's Notebook. Colo.: Interweave Press, 1985.
- Kotz, John C., and Paul Treichel, Jr. Chemistry and Chemical Reactivity. Orlando, Fla.: Harcourt Brace College, 1999.
- Kurlansky, Mark. Salt: A World History. Toronto: Alfred A. Knopf Canada, 2002. Lanman, Jonathan T. Glimpses of History from Old Maps: A Collector's View. Tring,
- Eng.: Map Collector, 1989.
- Latimer, Dean, and Jeff Goldberg. Flowers in the Blood: The Story of Opium. New York: Franklin Watts, 1981.
- Lehninger, Albert L. Biochemistry: The Molecular Basis of Cell Structure and Function.
- New York: Worth, 1975.
- Lewis, Richard J. Hazardous Chemicals Desk Reference. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.
- Loudon, G. Marc. Organic Chemistry. Menlo Park, Calif.: Benjamin/Cummings, 1988. MacDonald, Gayle. «Mauve with the Times.» Toronto Globe and Mail, April 28,
- 2001.
- Magner, Lois N. A History of Life Sciences. New York: Marcel Dekker, 1979. Manchester, William.

A World Lit Only by Fire: The Medieval Mind and the Renaissance: Portrait of an Age. Boston: Little, Brown, 1992.

- Mann, John. Murder, Magic and Medicine. Oxford: Oxford University Press, 1992. McGee, Harold. On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen. New
- York: Charles Scribner's Sons, 1984.
- McKenna, Terence. Food of the Gods. New York: Bantam Books, 1992.
- McLaren, Angus. A History of Conception from Antiquity to the Present Day. Oxford: Basil Blackwell, 1990.
- McMurry, John. Organic Chemistry. Monterey, Calif.: Brooks/Cole, 1984.
- Meth-Cohn, Otto, and Anthony S. Travis. «The Mauveine Mystery.» Chemistry in Britain (July 1995): 54749_.
- Miekle, Jeffrey L. American Plastic: A Cultural History. New Brunswick, N.J.: Rutgers University Press, 1995.
- Milton, Giles. Nathaniel's Nutmeg. New York: Farrar, Straus and Giroux, 1999. Mintz, Sidney W. Sweetness and Power: The Place of Sugar in Modern History. New
- York: Viking Penguin, 1985.
- Multhauf, R. P. Neptune's Gift: A History of Common Salt. Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 1978.

- Nikiforuk, Andrew. The Fourth Horseman: A Short History of Epidemics, Plagues, Famine and Other Scourges. Toronto: Penguin Books Canada, 1992.
- Noller, Carl R. Chemistry of Organic Compounds. Philadelphia: W. B. Saunders, 1966.
- Orton, James M., and Otto W. Neuhaus. Human Biochemistry. St. Louis: C. V. Mosby, 1975.
- Pakenham, Thomas. The Scramble for Africa: 1876-1912. London: Weidenfeld and Nicolson, 1991.
- Pauling, Linus. Vitamin C, the Common Cold and the Flu. San Francisco: W. H. Free- man, 1976.
- Pendergrast, Mark. Uncommon Grounds: The History of Coffee and How It Transformed the World. New York: Basic Books, 1999.
- Peterson, William. Population. New York: Macmillan, 1975.
- Radel, Stanley R., and Marjorie H. Navidi. Chemistry. St. Paul, Minn.: West, 1990. Rayner-Canham, G., P. Fisher, P. Le Couteur, and R. Raap. Chemistry: A Second
- Course. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1989.
- Robbins, Russell Hope. The Encyclopedia of Witchcraft and Demonology. New York: Crown, 1959.
- Roberts, J. M. The Pelican History of the World. Middlesex: Penguin Books, 1980. Rodd, E. H. Chemistry of Carbon Compounds. 5 vols. Amsterdam: Elsevier, 1960. Rosenblum, Mort. Olives: The Life and Lore of a Noble Fruit. New York: North Point

- Press, 1996.
- Rudgley, Richard. Essential Substances: A Cultural History of Intoxicants in Society.
- New York: Kodansha International, 1994.
- Russell, C. A., ed. Chemistry, Society and the Environment: A New History of the British Chemical Industry. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Savage, Candace. Witch: The Wild Ride from Wicked to Wicca. Vancouver, B.C.: Doug- las and McIntyre, 2000.
- Schivelbusch, Wolfgang. Tastes of Paradise: A Social History of Spices, Stimulants, and Intoxicants. Translated by David Jacobson. New York: Random House, 1980.
- Schmidt, Julius. Rev. and ed. by Neil Campbell. Organic Chemistry. London: Oliver and Boyd, 1955.
- Seymour, R. B., ed. History of Polymer Science and Technology. New York: Marcel Dekker, 1982.
- Snyder, Carl H. The Extraordinary Chemistry of Ordinary Things. New York: John Wiley and Sons, 1992.
- Sohlman, Ragnar, and Henrik Schuck. Nobel, Dynamite and Peace. New York: Cosmopolitan, 1929.
- Solomons, Graham, and Craig Fryhle. Organic Chemistry. New York: John Wiley and Sons, 2000.
- Stamp, L. Dudley. The Geography of Life and Death. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1964.
- Stine, W. R. Chemistry for the Consumer. Boston: Allyn and Bacon, 1979.

- Strecher, Paul G. The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals and Drugs. Rahway, N.J.: Merck, 1968.
- Streitwieser, Andrew, Jr., and Clayton H. Heathcock. Introduction to Organic Chemistry. New York: Macmillan, 1981.
- Styer, Lubert. Biochemistry. San Francisco: W. H. Freeman, 1988.
- Summers, Montague. The History of Witchcraft and Demonology. Castle Books, 1992.
- Tannahill, Reay. Food in History. New York: Stein and Day, 1973.
- Thomlinson, Ralph. Population Dynamics: Causes and Consequences of World Demo- graphic Changes. New York: Random House, 1976.
- Time-Life Books, ed. Witches and Witchcraft: Mysteries of the Unknown. Virginia: Time-Life Books, 1990.
- Travis, A. S. The Rainbow Makers: The Origins of the Synthetic Dyestuffs Industry in Western Europe. London and Toronto: Associated University Presses, 1993.
- Visser, Margaret. Much Depends on Dinner: The Extraordinary History and Mythology, Allure and Obsessions. Perils and Taboos of an Ordinary Meal. Toronto: McClelland and Stewart, 1986.
- Vollhardt, Peter C., and Neil E. Schore. Organic Chemistry: Structure and Function.
- New York: W. H. Freeman, 1999.

- Watts, Geoff. «Twelve Scurvy Men.» New Scientist (February 24, 2001): 4647-. Watts, Sheldon. Epidemics and History: Disease, Power and Imperialism. Wiltshire:
- Redwood Books, 1997.
- Webb, Michael. Alfred Nobel: Inventor of Dynamite. Mississauga, Canada: Copp Clark Pitman, 1991.
- Weinburg, B. A., and B. K. Bealer. The World of Caffeine: The Science and Culture of the World's Most Popular Drug. New York: Routledge, 2001.
- Wright, James W. Ecocide and Population. New York: St. Martin's Press, 1972. Wright, Lawrence. Clean and Decent: The Fascinating History of the Bathroom and the
- Water Closet. Cornwall: T.J. Press (Padstow), 1984.

المحتويات

أزرار نابليون

كيف تغير التاريخ بفضل سبعة عشر جزيئًا

عوامل كثيرة رُجّح أنها سبب فشل حملة نابوليون على روسيا في عام 1812، لكن الأكثر غرابة هو ربطها بشيء متناهي الصغر: زر كان المسؤول عن ربط معاطف جنود مشاة نابوليون وسراويلهم مصنوع من القصدير. لو أنّه صُنع من مادة أخرى، فيا تُرى إلى أي مدى سيتغيّر مسار التّاريخ ويختلف رسم خريطة العالم؟ في هذا الكتاب يُعاد كتابة التّاريخ من منظور الكيمياء التي فتنت الإنسان على مرّ العصور، فيظهر لنا تفسيرات لأحداث سياسية واقتصادية واجتماعية تسبب فيها جنون العناصر الكيميائية. على سبيل المثال، ما الرّابط بين التوابل والإبادة الجماعية، وكيف ساعدت على زرع بذور الرأسمالية؟ ما الرّابط بين تجارة العبيد الأفارقة وصناعة القطن والسُّكر؟ ولماذا يُنظر للزيتون على أنّه رمز السلام؟ولماذا عُدَّ استخدام الصّابون والاستحمام خطيئة كُبرى؟

- -

بِني كاميرون لو كوتور

حاصلة على دكتوراه وتُدرس الكيمياء في كلية كابيلانو في كولومبيا البريطانية، كندا، لأكثر من ثلاثين عامًا. فازت بجائزة بوليزار لتدريس الكيمياء المتميز في الكليات الكندية، ورأست قسم الكيمياء في كلية كابيلانو.

جاي بورسون

حاصل على دكتوراه في الكيمياء، وعمل كيميائيًا صناعيًا لعدد من السنوات، وحصل على زمالة خاصة من المعاهد الوطنية للصحة لأبحاث ما بعد الدكتوراه في المنتجات الطبيعية البحرية في جامعة هاواي. يشغل حاليًا منصب المدير العام لإحدى شركات التكنولوجيا الفائقة.

تصميم الغلاف كريم آدم




9 789778 242119

